

**Respuesta de genotipos de papa criolla (*Solanum tuberosum* grupo Phureja) al ataque de  
*Rhizoctonia solani* Kühn en el departamento de Nariño**

**Keily Yolanda Muñoz Zambrano**

**Universidad De Nariño**

**Maestría En Ciencias Agrarias Con Énfasis En Producción De Cultivos**

**San Juan De Pasto**

**2022**

**Respuesta de genotipos de papa criolla (*Solanum tuberosum* grupo Phureja) al ataque de  
*Rhizoctonia solani* Kühn en el departamento de Nariño**

**Trabajo de grado presentado como requisito para optar al título de Magister en Ciencias  
Agrarias con énfasis en Producción de Cultivos.**

**Keily Yolanda Muñoz Zambrano**

**Presidente de tesis:**

**Carlos Betancourth García Ph. D**

**Universidad De Nariño**

**Maestría En Ciencias Agrarias Con Énfasis En Producción De Cultivos**

**San Juan De Pasto**

**2022**

### **Nota de Responsabilidad**

“Las ideas y conclusiones aportadas en el trabajo son responsabilidad exclusiva de sus autores”

Artículo 1° de acuerdo 324 de octubre 11 de 1966 emanado por el Honorable Consejo Directivo de la Universidad de Nariño.

## Nota de Aceptación

---

Claudia Salazar González. Ph. D

Jurado

---

Bertha Lucia Castro. Ph. D

Jurado

---

Claudia Milena Quiroz Ojeda. M. Sc.

Jurado

---

Carlos Betancourth García. Ph.D.

Presidente

San Juan de Pasto, diciembre del 2022

## **Dedicatoria**

*A Dios, porque ha forjado mi camino cada día y por darme salud y bendiciones que me han permitido alcanzar todos mis logros como persona y como profesional.*

*A mis padres Jorge Muñoz y Olga Zambrano, quienes me encomendaron en sus oraciones y a través de todos los valores enseñados me dieron la capacidad de persistir en mis sueños y nunca abandonar mis metas, siendo un apoyo incondicional en mi vida.*

*A la memoria de mi querido hermano Breisman Muñoz y mi abuelita Florinda Quiroz, que siempre creyeron en mis capacidades y me enseñaron cada día a ser mejor persona y aunque hoy no están con nosotros, sé que, desde ese lugar de paz, me ven y me abrazan con el alma por cumplir un logro más en mi vida.*

*A mi gran amor, Yilmar Vallejo que, gracias a su paciencia, amor, confianza y apoyo incondicional, logré alcanzar una meta más en mi vida.*

## **Agradecimientos**

*A la Universidad de Nariño y a los profesores del programa de Maestría en Ciencias Agrarias por compartir sus conocimientos y aportar a mi formación personal y profesional.*

*A la fundación CEIBA y Gobernación de Nariño por financiar mis estudios de maestría.*

*Al proyecto de investigación Manejo Integrado de la Costra Negra de la papa (*Rhizoctonia solani* Kühn) en el departamento de Nariño' por la financiación del trabajo de investigación.*

*Al grupo de investigación Sanidad Vegetal de la Universidad de Nariño, por la confianza depositada, por brindar sus conocimientos y acompañamiento para la ejecución del trabajo de investigación.*

*Al director de este trabajo Carlos Betancourth Ph.D. mis más sinceros agradecimientos por su tiempo, paciencia, amistad, apoyo incondicional y por brindar todos sus valiosos conocimientos para efectuar este trabajo de investigación.*

*Al docente investigador, Benjamín Sañudo I.A, por su apoyo incondicional, por los conocimientos brindados, por su paciencia y por su amistad que me ayudaron a la culminación de este trabajo investigativo.*

*A la ingeniera agrónoma Jessica Descanse, por su amistad incondicional y toda su ayuda y apoyo en las labores de campo para la ejecución de esta investigación.*

*Al ingeniero agrónomo Carlos Flores, por su paciencia, amistad y por el acompañamiento brindado durante el desarrollo de la investigación.*

*Al ingeniero agrónomo Felix Arteaga por la colaboración en las actividades de campo y acompañamiento de los ensayos realizados.*

*A los jurados Claudia Salazar, Bertha Castro y Claudia Quiroz, por la dedicación de tiempo en la lectura y sugerencias en el trabajo de investigación que me ayudaron a alcanzar los objetivos planteados.*

*A mi familia y amigos, por toda su colaboración, a todos muchas gracias.*

## Resumen

El cultivo de papa presenta diversos problemas sanitarios que limitan la producción, entre ellos la rizoctoniasis o costra negra, causada por *Rhizoctonia solani* Kühn, que provoca reducciones en el rendimiento y calidad del tubérculo. Una de las estrategias de manejo de la enfermedad, es el empleo de cultivares resistentes. Nariño posee gran variabilidad genética de papa criolla (*S. tuberosum* grupo Phureja), sin embargo, no existe información precisa y actual frente a su reacción al patógeno. En esta investigación se evaluaron en campo genotipos de papa criolla correspondientes a la colección de trabajo del grupo de investigación GRISAV de la Universidad de Nariño. Las evaluaciones se realizaron en lotes con antecedentes del ataque del patógeno *R. solani*, en dos fases de campo: la primera fase se llevó a cabo en el municipio de Pasto, realizando una prueba de selección de genotipos de papa criolla de menor susceptibilidad a *R. solani*, el ensayo se estableció en un área de 1320 metros cuadrados. Se implementó un diseño de bloques completos al azar (BCA) con 25 tratamientos (Genotipos de papa criolla) y 3 repeticiones. Se evaluaron los porcentajes de incidencia del patógeno en diferentes etapas del cultivo y la producción de tubérculos. Los resultados indicaron que en emergencia el genotipo de menor incidencia fue Criolla Colombia con 5.74%, en floración los genotipos Mambera y Ratona Rosada con 18.92% cada uno y en cosecha el cultivar Ratona Rosada con 10.27% de afectación. Por otra parte el mayor rendimiento comercial en condiciones de infestación natural de *R. solani*, lo alcanzaron los genotipos Ratona Amarilla, Ratona Rosada y Criolla Galeras con 20.49, 21.25 y 23.39 t.ha<sup>-1</sup> respectivamente. En esta fase, según los criterios de selección, se destacaron los genotipos Criolla NN, Mambera, Ratona Amarilla, Ratona Rosada, Criolla Galeras, Criolla Colombia, Tornilla Negra, Punte y Ratona, por presentar menor susceptibilidad al patógeno y mayores rendimientos. La segunda fase se ejecutó en los municipios de Ipiales, Túquerres y Pasto. Las pruebas se

establecieron en lotes con antecedentes del patógeno con un área 768 metros cuadrados en cada zona. Se implementó un diseño de bloques completos al azar (BCA) con 10 tratamientos (9 Genotipos de papa criolla menos susceptibles al patógeno obtenidos en la fase 1 y testigo Ocarina) y 4 repeticiones. Se evaluaron las mismas variables que en la fase 1, además de la interacción genotipo x ambiente en cada localidad. Los resultados mostraron que las localidades se generaron respuestas diferenciales en los genotipos. Se presentó interacción localidad por cultivar para las variables incidencia en floración, número de tubérculos grandes, número de tubérculos medianos y rendimiento, sin embargo, no hubo interacción para incidencia en emergencia y cosecha. Los cultivares Criolla Galeras, Criolla Colombia, Ratona Amarilla, Ratona Rosada y Ocarina presentaron menor susceptibilidad *R. solani* en diferentes etapas del cultivo entre localidades. Por otra parte, en condiciones de infestación natural de *R. solani*, los genotipos Mambera, Criolla Galeras, Ratona Rosada y Ratona Amarilla obtuvieron los mayores rendimientos comerciales con medias mayores a 15.90 t.ha<sup>-1</sup> en los tres ambientes. Se concluye de manera general que los menores porcentajes de incidencia de la enfermedad durante el ciclo del cultivo en los diferentes ambientes, contribuyeron positivamente en los rendimientos comerciales de los genotipos Criolla Galeras y Ratona amarilla con 16,75 y 18,37 t.ha<sup>-1</sup> respectivamente, considerándose genotipos tolerantes a la enfermedad y de buena calidad sanitaria y comercial en el departamento de Nariño.

### Abstract

The potato crop presents various health problems that limit production, including rizoctoniasis or black scab, caused by *Rhizoctonia solani* Kühn, which causes reductions in tuber yield and quality. One of the disease management strategies is the use of resistant cultivars. Nariño has great genetic variability of Creole potato (*S. tuberosum* Phureja group), however, there is no precise and current information regarding its reaction to the pathogen. In this research, Creole potato genotypes corresponding to the work collection of the GRISAV research group of the University of Nariño were evaluated in the field. The evaluations were carried out in batches with a history of attack by the pathogen *R. solani*, in two field phases: the first phase was carried out in the municipality of Pasto, carrying out a selection test of Creole potato genotypes with less susceptibility to *R. solani*, the trial was established in an area of 1320 square meters. A randomized complete block design (BCA) was implemented with 25 treatments (Creole potato genotypes) and 3 replicates. The percentages of incidence of the pathogen in different stages of the crop and the production of tubers were evaluated. The results indicated that in emergence the genotype with the lowest incidence was Criolla Colombia with 5.74%, in flowering the Mambera and Ratona Rosada genotypes with 18.92% each and in harvest the Ratona Rosada cultivar with 10.27% affectation. On the other hand, the highest commercial yield under conditions of natural infestation of *R. solani* was achieved by the Ratona Amarilla, Ratona Rosada and Criolla Galeras genotypes with 20.49, 21.25 and 23.39 t.ha<sup>-1</sup> respectively. In this phase, according to the selection criteria, the Criolla NN, Mambera, Ratona Amarilla, Ratona Rosada, Criolla Galeras, Criolla Colombia, Tornilla Negra, Punte and Ratona genotypes stood out, for presenting less susceptibility to the pathogen and higher yields. The second phase was carried out in the municipalities of Ipiales, Túquerres and Pasto. The tests were established in batches with a history of the pathogen with an area of 768 square meters in

each zone. A randomized complete block design (BCA) was implemented with 10 treatments (9 Creole potato genotypes less susceptible to the pathogen obtained in phase 1 and Ocarina control) and 4 repetitions. The same variables as in phase 1 were evaluated, in addition to the genotype x environment interaction in each location. The results showed that the localities generated differential responses in the genotypes. There was an interaction location by cultivar for the variables incidence in flowering, number of large tubers, number of medium tubers and yield, however, there was no interaction for incidence in emergence and harvest. The cultivars Criolla Galeras, Criolla Colombia, Ratona Amarilla, Ratona Rosada and Ocarina showed lower susceptibility to *R. solani* at different stages of cultivation between locations. On the other hand, under conditions of natural infestation of *R. solani*, the Mambera, Criolla Galeras, Ratona Rosada and Ratona Amarilla genotypes obtained the highest commercial yields with means greater than 15.90 t.ha<sup>-1</sup> in the three environments. It is generally concluded that the lower percentages of incidence of the disease during the crop cycle in the different environments contributed positively to the commercial yields of the Criolla Galeras and Ratona amarilla genotypes with 16.75 and 18.37 t.ha<sup>-1</sup> respectively, considering genotypes tolerant to the disease and of good sanitary and commercial quality in the department of Nariño.

## Tabla de Contenido

|   |    |
|---|----|
| Introducción .....  | 19 |
| 1. Objetivos.....   | 22 |
| 1.1 Objetivo general.....   | 22 |
| 1.2 Objetivos Específicos.....  | 22 |
| 2. Marco teórico .....  | 23 |
| 2.1 Generalidades de la papa .....                                      | 23 |
| 2.2 Descripción Taxonómica y botánica .....                             | 23 |
| 2.3 Condiciones de cultivo de papa criolla .....                        | 24 |
| 2.4 Contexto mundial.....   | 25 |
| 2.5 Contexto nacional .....   | 25 |
| 2.6 Costra negra o rizoctoniasis ( <i>Rhizoctonia solani</i> Kühn)..... | 27 |
| 2.7 Manejo integrado de <i>R. solani</i> .....                          | 29 |
| 2.7.1 Control Químico.....  | 29 |
| 2.7.2 Control Biológico. ....   | 29 |
| 2.7.3 Control Cultural.....   | 30 |
| 2.7.4 Control genético. ....  | 30 |
| 2.8 Resistencia genética .....  | 31 |
| 2.9 Interacción genotipo x ambiente.....                                | 32 |
| 3. Metodología .....  | 33 |

|   |    |
|---|----|
| 3.1 Localización de prueba de selección de papa criolla .....   | 33 |
| 3.2 Material Vegetal de prueba de selección de genotipos de papa criolla.....   | 33 |
| 3.3 Área y diseño experimental de prueba de selección de genotipos de papa criolla .....  | 35 |
| 3.4 Mapa de campo de prueba de selección de genotipos de papa criolla.....  | 37 |
| 3.5 Manejo agronómico de prueba de selección de genotipos de papa criolla .....   | 38 |
| 3.6 Variables evaluadas en prueba de selección de genotipos de papa criolla.....  | 39 |
| 3.7 Análisis estadístico de prueba de preselección de genotipos de papa criolla.....  | 40 |
| 3.8 Localización de genotipos de papa criolla preseleccionados en tres municipios .....   | 40 |
| 3.9 Material Vegetal de genotipos de papa criolla preseleccionados en tres municipios .....   | 41 |
| 3.10 Área y diseño experimental de genotipos de papa criolla preseleccionados en tres<br>municipios .....   | 43 |
| 3.11 Mapa de campo de genotipos de papa criolla preseleccionados en las localidades de Pasto,<br>Túquerres e Ipiales.....                             | 44 |
| 3.12 Manejo agronómico de genotipos de papa criolla en tres municipios .....  | 45 |
| 3.13 Variables evaluadas en genotipos de papa criolla preseleccionados en tres municipios ...   | 46 |
| 3.12 Análisis estadístico en genotipos de papa criolla preseleccionados en tres municipios ....   | 46 |
| 4. Resultados y discusión.....  | 47 |
| 4.1 Incidencia de <i>R. solani</i> en etapas de emergencia, floración y cosecha de prueba de selección<br>de genotipos de papa criolla (Fase I) ..... | 47 |
| 4.2 Producción de genotipos de papa criolla grupo Phureja en prueba de selección (Fase I)....   | 55 |

|   |    |
|---|----|
| 4.3 Incidencia de <i>R. solani</i> en etapas de emergencia, floración y cosecha de genotipos preseleccionados de papa criolla grupo Phureja en tres municipios del departamento de Nariño (Fase II) ..... | 64 |
| 4.4 Producción de genotipos de papa criolla grupo Phureja en tres municipios del departamento de Nariño (Fase II) .....   | 74 |
| Conclusiones .....  | 89 |
| Recomendaciones .....   | 90 |
| Referencias bibliográficas.....   | 91 |

**Lista de tablas**

Tabla 1. Condiciones climáticas del municipio de Pasto para el año 2020. .... 33

Tabla 2. Condiciones climáticas de los municipios de Túquerres, Pasto e Ipiiales para el año 2021.  
..... 41

Tabla 3. ANOVA para porcentaje de incidencia en emergencia, floración y cosecha de *R. solani*,  
de genotipos de papa criolla. .... 48

Tabla 4. Comparación de promedios de Duncan para la variable % Incidencia en emergencia. .. 49

Tabla 5. Comparación de promedios de Duncan para la variable % Incidencia en floración. .... 51

Tabla 6. Comparación de promedios de Duncan para la variable % Incidencia en cosecha. .... 53

Tabla 7. ANOVA para número de tubérculos grandes, medianos y rendimiento comercial (t.ha<sup>-1</sup>)  
de genotipos de papa criolla. .... 55

Tabla 8. Comparación de promedios de Duncan para la variable número de tubérculos grandes por  
planta de papa criolla. .... 56

Tabla 9. Comparación de promedios de Duncan para la variable número de tubérculos medianos  
por planta de papa criolla. .... 58

Tabla 10. Comparación de promedios de Duncan para la variable rendimiento comercial (t ha<sup>-1</sup>) de  
papa criolla. .... 60

Tabla 11. ANOVA para porcentaje de incidencia en emergencia, floración y cosecha de *R. solani*,  
de genotipos de papa criolla en tres municipios del departamento de Nariño. .... 64

Tabla 12. Comparación de promedios de Tukey para la variable Incidencia de *R. solani* en etapa  
de emergencia en tres municipios del departamento de Nariño. .... 66

Tabla 13. Comparación de promedios de Tukey para la variable Incidencia de *R. solani* en etapa  
de floración en tres municipios del departamento de Nariño. .... 69

Tabla 14. Comparación de promedios de Tukey para la variable Incidencia de *R. solani* en etapa de cosecha en tres municipios del departamento de Nariño. .... 72

Tabla 15. ANOVA para las variables número de tubérculos grandes, medianos y rendimiento comercial (t.ha<sup>-1</sup>) de genotipos de papa criolla en tres municipios del departamento de Nariño. .75

Tabla 16. Comparación de promedios de Tukey para la variable número de tubérculos grandes por planta de papa criolla en tres municipios del departamento de Nariño. .... 77

Tabla 17. Comparación de promedios de Tukey para la variable número de tubérculos medianos por planta de papa criolla en tres municipios del departamento de Nariño. .... 81

Tabla 18. Comparación de promedios de Tukey para la variable rendimiento comercial de papa criolla en tres municipios del departamento de Nariño. .... 85

**Lista de Figuras**

|   |    |
|---|----|
| Figura 1. Ciclo biológico de <i>Rhizoctonia solani</i> .  | 29 |
| Figura 2. Genotipos de papa criolla. A) Aguacata, B) Borreguera, C) Cachona, D) Calavera Negra, E) Chaucha Tornilla, F) Criolla Dorada, G) Criolla NN, H) Criolla Colombia e I) Criolla Galeras.  | 34 |
| Figura 3. Genotipos de papa criolla. J) Criolla Latina, K) Guaneña, L) Huevo de Indio, M) Malvaseña, N) Mambera, Ñ) Ñoña, O) Punte, P) Ratona y Q) Ratona Amarilla.   | 34 |
| Figura 4. Genotipos de papa criolla. R) Ratona Morada, S) Ratona Rosada, T) Ratona Roja, U) Tornilla Roja, V) Uvilla, W) Yema de Huevo y X) Tornilla Negra.   | 35 |
| Figura 5. Establecimiento de prueba de selección de la colección de trabajo de genotipos de papa criolla ( <i>S. tuberosum</i> grupo Phureja).  | 36 |
| Figura 6. Mapa de campo de prueba de selección de genotipos de papa criolla ( <i>S. tuberosum</i> grupo Phureja).   | 37 |
| Figura 7. Genotipos de papa criolla. A) Clasificación y B) Peso y conteo de tubérculos.   | 40 |
| Figura 8. Genotipos preseleccionados de papa criolla de menor susceptibilidad a <i>R. solani</i> . A) Mambera, B) Criolla NN, C) Ratona amarilla, D) Ratona, E) Criolla galeras, F) Ratona rosada, G) Tornilla negra, H) Criolla Colombia e I) Punte. | 42 |
| Figura 9. Genotipo testigo de referencia, Criolla Ocarina.  | 42 |
| Figura 10. Lotes experimentales de estudio A) Túquerres, B) Pasto y C) Ipiales.   | 43 |
| Figura 11. Mapa de campo del establecimiento de genotipos de papa criolla ( <i>S. tuberosum</i> grupo Phureja) preseleccionados para las localidades de Pasto, Túquerres e Ipiales.   | 44 |
| Figura 12. Síntomas de <i>R. solani</i> . A) Quemazón de brotes y B) Chancro color marrón en brotes.  | 47 |

Figura 13. Síntomas de *R. solani*. A) Enanismo en plantas, B y C) Enrollamiento foliar. .... 50

Figura 14. Tubérculos deformes. A) Punte, B) Calavera negra y C) Cachona. .... 52

Figura 15. Diagrama de correlación para las variables: IE=Incidencia en emergencia, IF=Incidencia en floración, IC= Incidencia en cosecha, TG= Tubérculos grandes, TM= Tubérculos medianos y RTO= Rendimiento comercial. .... 62

Figura 16. Comportamiento de diez genotipos de papa criolla (*S. tuberosum* grupo Phureja) en etapa de emergencia, en condiciones de infestación natural de *R. solani*. .... 65

Figura 17. Comportamiento de diez genotipos de papa criolla (*S. tuberosum* grupo Phureja) en etapa de floración, en condiciones de infestación natural de *R. solani*. .... 68

Figura 18. Comportamiento de diez genotipos de papa criolla (*S. tuberosum* grupo Phureja) en etapa de cosecha, en condiciones de infestación natural de *R. solani*. .... 71

Figura 19. Comportamiento de diez genotipos de papa criolla (*S. tuberosum* grupo Phureja) para la producción de tubérculos grandes por planta, en condiciones de infestación natural de *R. solani*. .... 75

Figura 20. Comportamiento de diez genotipos de papa criolla (*S. tuberosum* grupo Phureja) para la producción de tubérculos medianos por planta, en condiciones de infestación natural de *R. solani*. .... 80

Figura 21. Comportamiento de diez genotipos de papa criolla (*S. tuberosum* grupo Phureja) para el rendimiento comercial ( $t.ha^{-1}$ ), en condiciones de infestación natural de *R. solani*. .... 83

## Introducción

La papa criolla (*S. tuberosum* grupo Phureja) es un cultivo de gran expansión en el país con 8640 hectáreas sembradas, una producción total anual de 129.014 toneladas y un rendimiento promedio de 14.7 t.ha<sup>-1</sup> (Agronet, 2017), este cultivar tiene alta aceptación a nivel nacional e internacional, siendo el sur de Colombia uno de los mayores centros de diversidad genética del grupo Phureja (Ñústez & Rodríguez, 2020).

Nariño fue el tercer productor nacional de papa criolla según el área cosechada (1.314 ha), después de Cundinamarca (3.081 ha) y Boyacá (2.507 ha). El departamento produjo 16.494 t, y tuvo un rendimiento promedio de 12,55 t/ha y una participación en la producción nacional del 12,78% (Agronet, 2017). Para el año 2020, el abastecimiento de esta variedad, se vio reflejada principalmente por los municipios de Ipiales (19.648 ton), Pasto (6.052 ton), Puerres (3.628 ton) y Túquerres (2.603 ton), siendo este cultivo fundamental en la seguridad alimentaria de la población (FEDEPAPA, 2021b).

El cultivo de papa presenta susceptibilidad en campo, ocasionada por patógenos, principalmente hongos (Liu *et al.*, 2019). Una de las enfermedades de gran importancia en el cultivo de papa es la costra negra o rizoctoniasis causada por *Rhizoctonia solani* Kühn (Betancourth *et al.*, 2022), que afecta raíces, tallos y tubérculos de papa, disminuyendo el rendimiento (Chavarro *et al.*, 2021). *R. solani*, se considera un hongo patógeno habitante natural del suelo (Abdoulaye *et al.*, 2019) que reporta pérdidas anuales entre el 20 y 40% en todo el mundo (Srivastava *et al.*, 2016).

Una manera de optimizar el rendimiento de los cultivos es disminuyendo la incidencia de enfermedades (Bidondo *et al.*, 2019), que en un principio se realiza a través de acciones preventivas, que involucran prácticas culturales como rotación de cultivos y empleo de plantas

resistentes (Collinge *et al.*, 2019). No obstante, el uso de plaguicidas preventivos o curativos para el control de enfermedades es importante para el incremento de rendimiento y calidad de los cultivos en la agricultura moderna (Kawasaki & Lichtenberg, 2015). Aunque existe un aporte positivo del uso de agroquímicos en plagas y enfermedades de las plantas, las reacciones perjudiciales que estos han ocasionado en la salud humana y el medio ambiente son preocupantes (Kim *et al.*, 2017), de igual manera el uso de estos químicos por tiempos prolongados ha conducido a la resistencia de plagas y patógenos (Borel, 2017), como es el caso del uso continuo de moléculas sintéticas para el control de *R. solani* con un mismo modo de acción (inhibición de la enzima SDHI), mostrando pérdida de efectividad (Betancourth *et al.*, 2022).

La distribución e incidencia de *R. solani* es generalizada en las zonas productoras de papa en el departamento de Nariño (Betancourth *et al.*, 2020) aun así, se carece de información precisa y actual sobre el nivel de daño económico en cultivos de papa y este factor es determinante para el diseño de medidas de control.

Existe gran variabilidad genética de papa criolla (*S. tuberosum* grupo Phureja), que presenta características deseables para la culinaria e industria (Ñústez & Rodríguez, 2020), así mismo este grupo presenta mayor cantidad de proteína en comparación al grupo *Tuberosum* (Peña, 2015), también buenos contenidos Fe, Zn y antioxidantes como vitamina C y fenoles (Valbuena *et al.*, 2019). Por otra parte, se han encontrado materiales con tolerancia a diferentes enfermedades como: tizón tardío (*Phytophthora infestans*) (Monteros & Delgado, 2021), virus del amarillamiento de venas (Torrance *et al.*, 2020), marchitez bacteriana (*Ralstonia solanacearum*) (Lopes *et al.*, 2021), sarna polvosa (*Spongospora subterranea*) (Lekota *et al.*, 2019) y Costra negra (*Rhizoctonia solani*) (Zhang *et al.*, 2021). De ahí que estas características del grupo Phureja constituyen el recurso genético para futuras investigaciones. A pesar de su importancia económica, biológica, y social,

este grupo no ha sido estudiado ampliamente y es por ello que encontrar genotipos promisorios de papa criolla, contribuirá a disminuir la afectación de *R. solani* en el cultivo.

La presente investigación tuvo como objetivo evaluar la reacción de genotipos de papa criolla (*S. tuberosum* grupo Phureja) frente al ataque de la enfermedad costra negra (*R. solani* Kühn) en el departamento de Nariño, permitiendo obtener a futuro una alternativa de mejoramiento genético del grupo Phureja y una opción productiva del cultivo a bajos costos y amigable con el medio ambiente y la salud humana en el departamento de Nariño.

## 1. Objetivos

### 1.1 Objetivo general

Evaluar la reacción de genotipos de papa criolla (*S. tuberosum* grupo Phureja) frente al ataque de la enfermedad costra negra (*R. solani* Kühn) en el departamento de Nariño.

### 1.2 Objetivos Específicos

- Preseleccionar genotipos de papa criolla (*S. tuberosum* grupo Phureja) de menor susceptibilidad a *R. solani* Kühn.
- Determinar la reacción de genotipos preseleccionados de papa criolla (*S. tuberosum* grupo Phureja) a *R. solani* Kühn en tres municipios del departamento de Nariño.

## 2. Marco teórico

### 2.1 Generalidades de la papa

El origen de la papa se centra en el norte del lago Titicaca, sur de Perú (Araujo *et al.*, 2021), donde existe la mayor diversidad de especies (Castellanos, 2022) que constituyen una fuente genética para las generaciones futuras. El cultivo de papa fue domesticado hace más de 10000 años y ocupa cerca del 98% de superficie mundial (Estrada, 2000). En los Andes suramericanos se originó la especie tetraploide ( $2n=4x=48$ ) que comprende dos subespecies, *andigena* y *tuberosum* (Estrada, 2000).

La especie *andigena* adaptada a condiciones de días cortos en latitudes entre 0 y 20° norte o sur, cultivada principalmente en los Andes y la especie *tuberosum*, adaptada a días más prolongados en latitudes entre 25 y 50° sur o norte, cultivada en varias partes del mundo (Spooner *et al.*, 2007). En el siglo XVI la papa migró a Europa (Rodríguez, 2010), sembrándose en un principio como una curiosidad botánica más que como una planta alimenticia, pero el consumo de este tubérculo creció por todo el mundo, hasta convertirse en unos de los principales alimentos del ser humano (IDEXCAM, 2018).

### 2.2 Descripción Taxonómica y botánica

La papa pertenece al Reino: Plantae. División: Magoliophyta. Clase: Magnoliopsida. Orden: Solanales. Familia: Solanaceae. Género: *Solanum* (Roskov *et al.*, 2019). Es una planta anual con periodos vegetativos que pueden ser precoces (90 días) o tardíos (180 días) (Proinpa, 2009). La parte aérea está compuesta por tallos herbáceos que llegan a medir 60 cm de altura, Posee ramificaciones de donde brotan hojas anchas situadas en forma alterna (Proinpa, 2009), presenta flores terminales de diferentes colores (Latorre & Villamizar, 2019) que dan como resultado bayas,

de forma redonda u oval, que va desde el color verde amarillo hasta violeta y contienen la semilla sexual (Araujo *et al.*, 2021).

En la parte subterránea existe el sistema radical fibroso ramificado (Proinpa, 2009) y de las yemas axilares de los nudos basales de los tallos principales provienen los estolones (Huamán, 1986), donde del extremo subapical engrosado se forman los tubérculos (Viola *et al.*, 2001), que son tallos modificados adaptados para el almacenamiento de reservas alimenticias de la planta (Ñústez & Rodríguez, 2020).

A lo largo de la historia se han presentado diferentes puntos de vista entre los taxónomos que se han encargado de la clasificación de la papa (Rodríguez, 2009). Es por eso que la papa criolla ha sido clasificada de diversas formas, como *Solanum phureja* (Hawkes 1990), *Solanum tuberosum* grupo Phureja (Huamán & Spooner, 2002) y actualmente como *Solanum tuberosum* grupo Andigenum, donde se incluyen las papas diploides, triploides y tetraploides cultivadas en la zona alta de los Andes (Spooner *et al.* 2007), la adoptada para la presente investigación es la del grupo Phureja.

### **2.3 Condiciones de cultivo de papa criolla**

Las variedades del Grupo Phureja, se cultivan entre los 2000 y 3000 msnm, con temperaturas que oscilan entre los 10 y 20 °C (Becerra *et al.*, 2007), con ciclo vegetativo entre 110 y 135 días desde la siembra hasta la cosecha y requiere una humedad entre 300 y 500 mm por ciclo (Ñústez & Rodríguez, 2020). También, suelos con un Ph ácido (5.0 y 6.0) y de textura franca o franca arcillosa son óptimos para el cultivo debido a que mitigan el daño por enfermedades y exceso de humedad. En cuanto al contenido de materia orgánica, se cultiva en un amplio rango, dependiendo del mercado al cual está dirigido el tubérculo (Ñústez & Rodríguez, 2020).

## 2.4 Contexto mundial

La papa (*Solanum tuberosum* L.) como producto alimenticio presentó una fuerte expansión a nivel mundial, cultivándose en más de 130 países (Porras & Herrera, 2015) y situándose como el quinto alimento básico más cosechado a nivel mundial (FEDEPAPA, 2021b). La adaptación de la papa a diferentes climas ha permitido el aumento de la producción y consumo (Chavarro, 2011). Sus aportes energéticos y nutricionales por ser fuente rica en proteína, carbohidratos, potasio, vitamina c, otras vitaminas y minerales han contribuido a la alimentación global (Chavarro, 2011).

Para el año 2019 el área de papa sembrada en el mundo estuvo alrededor de los 22 millones de hectáreas, con una producción de 370 millones de toneladas, siendo China el mayor productor de papa en el mundo con más de 91 millones de toneladas cosechadas, seguido de India, Rusia, Ucrania, Estados Unidos, Alemania, Bangladesh, Francia y Países bajos con producciones entre 50 y 6 millones de toneladas cosechadas (FEDEPAPA, 2021b).

Los principales exportadores de papa son: Bélgica con 32% del mercado mundial; Países Bajos con 24% y Canadá y Estados Unidos cada uno con el 12% del total de exportaciones (FEDEPAPA, 2020). Las importaciones de papa procesada están representadas por papa precocida congelada (90%) y fécula de papa (10%), provenientes de la Unión Europea (78%), Estados Unidos (18%) y otros países (4%) (MADR, 2019).

## 2.5 Contexto nacional

En Colombia, para el año 2017 la producción de papa criolla fue 129.014 toneladas cultivadas en 8640 hectáreas (Agronet, 2017), concentradas principalmente en los departamentos de Cundinamarca, Boyacá, Nariño, Norte de Santander y Antioquia que contribuyen con el 90 % de la producción total nacional (MADR, 2021) y el porcentaje restante en departamentos de menor producción como Cauca, Santander y Tolima (Agronet, 2017).

Colombia es privilegiado al poseer más de 30 variedades de papa mejoradas entre cultivares nativos o regionales adaptados a diferentes pisos térmicos (Lagos *et al.*, 2021), lo cual establece a este cultivo como el eje fundamental de la economía del país en 283 municipios colombianos (MADR, 2021).

Se estima que alrededor de 100000 familias se dedican a este cultivo (MADR, 2021) donde la producción de papa es en minifundio (Marcillo *et al.*, 2021), cerca del 95% de los productores siembran menos de tres hectáreas y el 80% menos de una hectárea (MADR, 2021). También, el 90% de los cultivos se desarrolla con tecnología tradicional y sólo el 10% utiliza tecnología más avanzada (FEDEPAPA, 2019).

El consumo per cápita anual de papa en Colombia es de 41 kilos, donde el tipo de papa que más se consume en los hogares es la papa guata, siendo la ciudad de Bogotá la de mayor consumo, seguido de la papa criolla que es de mayor consumo en las ciudades de Medellín y Cali (Nielsen Homescan Colombia, 2018).

En el departamento de Nariño la economía de las familias campesinas depende de la siembra del cultivo de papa ocupando el primer lugar a nivel de cultivos que en su mayoría corresponde a pequeños agricultores, los cuales se encuentran distribuidos en los 32 municipios productores de papa (PDEA, 2019). En este departamento el costo de producción promedio de papa criolla es de \$12.636.848, por hectárea, cuyo valor se vio afectado por el 33% en insumos agrícolas y un 23% en mano de obra (FEDEPAPA, 2021a), donde el abastecimiento de papa criolla se reflejó principalmente por los municipios de Ipiales (19.648 ton), Pasto (6.052 ton), Puerres (3.628 ton) y Túquerres (2.603 ton) (FEDEPAPA, 2021b).

## 2.6 Costra negra o rizoctoniasis (*Rhizoctonia solani* Kühn)

*Rhizoctonia solani* es un patógeno de distribución mundial que ocasiona pérdidas económicas importantes en la mayoría de las plantas perennes y anuales, incluyendo casi todos los cultivos hortícolas (Arcos & Zúñiga, 2015; Porras & Herrera, 2015). Según Agrios (2007), *Rhizoctonia solani* Kühn pertenece Reino: Fungi, Filo: Basidiomycota, Clase: Hyphomycetes, Orden: Agonomycetales, Familia: Agonomycetaceae, Género: *Rhizoctonia* y Especie: *Rhizoctonia solani* Kühn. *R. solani* es uno de los hongos fitopatógenos más importantes del suelo y es la especie más conocida dentro del género *Rhizoctonia* sp. Fue originalmente descrito en 1858 por Julis Kühn, sobre tubérculos de papa y se caracteriza por ser un patógeno muy destructivo, versátil y altamente variable (Ochoa, 2008).

*R. solani* se presenta en alta distribución en áreas dedicadas al cultivo de papa (Andrade & Revelo, 1994), causa daño a los tejidos colonizados ocasionando lesiones en raíces, tallos y tubérculos; genera disminución de la calidad de tubérculos y disminuye el rendimiento agronómico (Porras & Herrera, 2015). Este patógeno es dispersado por el agua de lluvia y de riego; la remoción del suelo y el uso de semilla contaminada, permiten fácil distribución del patógeno en el suelo. Así mismo, el estiércol de ganado alimentado con tubérculos enfermos permite fácil dispersión de *R. solani* en praderas y barbechos (Porras & Herrera, 2015). Este hongo se desarrolla en suelos húmedos, ácidos y con temperaturas bajas, permanece en forma de esclerocios por varios años, siendo la fuente de inóculo de la enfermedad (Porras & Herrera, 2015). Macroscópicamente las colonias jóvenes de *R. solani* se caracterizan por ser blancas, algodonosas y planas, aunque dependiendo de la especie, pueden llegar a tornarse cremosas o amarillentas. Al producirse la maduración, la colonia toma una coloración marrón (Tovar, 2008).

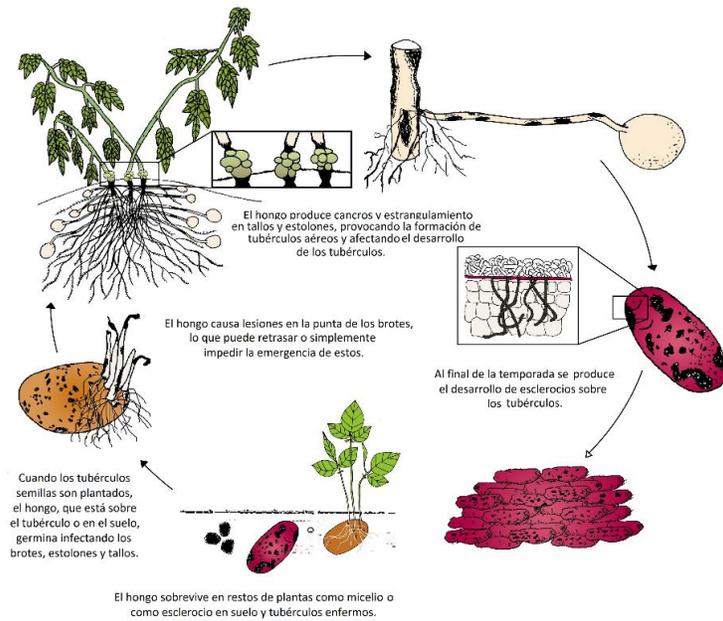
Los síntomas del ataque severo de *R. solani* en papa, se manifiestan con brotes afectados que anulan la emergencia, pudrición de tallo, formación de chancros en tallo, depresiones profundas

que rodean el tallo y lo estrangulan, encrespamiento de las hojas, pigmentación púrpura de folíolos, clorosis y amarillamiento que se manifiestan con mayor severidad en la parte apical de la planta, (Beltrán & Cotes, 2011) y formación de tubérculos aéreos, deformaciones y presencia de esclerocios (ICA, 2011).

El hongo *R. solani*, posee hifas de color marrón oscuro, septadas y multinucleadas (Misawa & Kurose, 2019) donde las células tienen entre 7.2 y 8.2 núcleos (Betancourth *et al.*, 2021b). Este hongo tiene la particularidad de producir anastomosis a través de la fusión de hifas (Carling, 1996), condición que ha llevado a clasificarlo en grupos de anastomosis (GA), que difieren entre sí en filogenética, morfología, fisiología y patogenicidad (Fiers *et al.*, 2011; Ferrucho *et al.*, 2012; Muzhinji *et al.*, 2015).

Se han identificado 14 grupos de anastomosis en el mundo (Picarelli *et al.*, 2019), siendo el AG-3 el más dominante comúnmente asociado a las papas (Inokuti *et al.*, 2019) y principal causante de la enfermedad de la costra negra en papa, que consiste en el desarrollo de esclerocios color negro en la superficie de los tubérculos durante las etapas tardías del desarrollo (Muzhinji *et al.*, 2015; Das *et al.*, 2014; Ferrucho *et al.*, 2012).

Según Castro & Contreras (2011), un esclerocio se define como una masa de hifas deshidratadas, compactadas, de tamaño variable y color marrón, que forman un cuerpo de resistencia de algunos hongos. Acuña & Vargas (2004), afirman que estas estructuras tienen la capacidad de permanecer latentes por prolongados periodos de tiempo. Este hongo puede sobrevivir en restos de plantas en forma de micelio y en el suelo como esclerocios y estas costras negras con condiciones ambientales favorables invaden los brotes emergentes y tallos de la planta (Gualoto, 2019) (Figura 1).



**Figura 1. Ciclo biológico de *Rhizoctonia solani*.**

Fuente. Acuña *et al.*, 2015

## 2.7 Manejo integrado de *R. solani*

### 2.7.1 Control Químico.

El manejo previo a la plantación con moléculas químicas protegerá los nuevo tallos y brotes emergentes (Gualoto, 2019). Tratamientos al tubérculo semilla o al surco de plantación han exhibido buen control en brotes, tallos o estolones, pero la incidencia de costra negra sobre los tubérculos hijos ha sido variable (Gualoto, 2019). Sin embargo, este método genera altos costosos y tiene un efecto perjudicial en la microfauna del suelo y los agricultores (Acuña & Araya, 2017).

### 2.7.2 Control Biológico.

Estudios de especies del hongo *Trichoderma*, así también como las bacterias *Bacillus* y *Pseudomonas* han mostrado su capacidad antagónica frente a varios patógenos y diferentes cultivos (Tariq *et al.*, 2020). Durante la acción de los agentes de control biológico se ha determinado la

producción de antibióticos, sideróforos, enzimas bioactivas, competencia por nutrientes, promoción del crecimiento y desarrollo de la planta por la actividad del microbiota en la rizosfera (Tariq *et al.*, 2020).

### **2.7.3 Control Cultural.**

Las prácticas culturales son la opción más recomendada y utilizada en el manejo de la incidencia de enfermedades en varios lugares del mundo (Katan, 2010). Entre ellas están: suelos con buen drenaje, sembrar en camas elevadas (Agrios, 2005), rotación de cultivos, control de malezas durante las primeras tres semanas de la emergencia de la papa, adición de enmiendas orgánicas, uso de aceites esenciales como el de *Salvia officinalis* (Arici & Sanli, 2014) y la eliminación de residuos de cosecha, son prácticas viables para atenuar el desarrollo del hongo (Torres, 2002).

### **2.7.4 Control genético.**

Encontrar variedades resistentes o tolerantes es de importancia crucial para hacer frente a problemas que afectan directamente a los cultivos, sean de origen fitopatológico, fisicoquímico o de carácter ambiental (Chavarro, 2011). Se han reportado pérdidas ocasionadas por el patógeno de hasta US\$ 75 millones/año en varios países (Das *et al.*, 2014), sin embargo, no se le ha dado la verdadera importancia y la resistencia genética se considera una estrategia a largo plazo para controlar el chancro del tallo y la costra negra de los tubérculos (Djéballi & Belhaseen, 2010). Aunque la evaluación de clones de papa resistentes a *R. solani* es un proceso complejo, existen estudios realizados en Bangladesh por Khandaker *et al.* (2011), donde encontraron 6 cultivares de papa con resistencia moderada en campo a *R. solani*, denominados como: Arinda, Raja, 94.42, 94.66, 384011.3, 384091.11. De igual manera Zhang *et al.* (2021), en Wuchuan – Mongolia, obtuvieron 4 cultivares de papa con resistencia moderada a *R. solani* denominados como: Desiree, Heimeiren, Longshu 3 y LK99.

## 2.8 Resistencia genética

La resistencia vertical es denominada también llamada específica, cualitativa, inestable y completa, gobernada por un gen dominante con efectos mayores y una clara segregación discontinua de la progenie generada por un genotipo resistente y otro susceptible (Forbes *et al.*, 2014).

En este tipo de resistencia se produce una respuesta de Hipersensibilidad (HR), formando unas pequeñas lesiones necróticas (Pérez y Forbes 2008), donde el micelio del hongo muere antes de que el patógeno se reproduzca (Henfling 1987).

Esta forma de resistencia se evidencia invulnerable a una raza fisiológica del patógeno, pero ante la aparición de nuevas razas, pierde su efectividad, por tal razón su duración es corta en el campo (Torres, 2002).

La resistencia horizontal es denominada resistencia general, cuantitativa, estable, no específica y de campo; está gobernada por genes menores (Torres, 2002) y otras características de la planta como: resistencia de la cutícula y de las células de la epidermis, fuerza mecánica de la pared celular, acción de las enzimas producidas por el hongo, actividad de sustancias en las hojas para inhibir la germinación y penetración de las esporas, el número de estomas (Henfling 1987), que inhiben el crecimiento del patógeno.

Las plantas con este tipo de resistencia, al infectarse con el patógeno, muestran síntomas de menor severidad en comparación con las plantas susceptibles (Herrera, 2019). Cuando el ambiente es favorable para el patógeno, la planta pierde la resistencia, comportándose como susceptible pero cuando estas condiciones, son desfavorables para el patógeno, a variedad vuelve a comportarse como resistente (Torres, 2002).

En esta forma de resistencia, la planta limita la penetración e invasión del tejido por cualquier raza del patógeno, donde a esporulación es menor y disminuye el tiempo necesario para realizar nuevas infecciones (Herrera, 2019).

## **2.9 Interacción genotipo x ambiente**

El conjunto de circunstancias externas que rodean a todos los seres vivos interfiriendo directamente en su desarrollo y evolución se describe como ambiente, además está condicionado para diferentes años en un mismo lugar y para diferentes lugares en un mismo año (Muñoz, 2012). Según Chávez, (1993), el ambiente origina cambios entre los individuos, aun cuando estos sean genéticamente iguales. También el efecto ambiental es determinante para la planificación de una producción y la clasificación de zonas aptas de un cultivo (Galindo & Clavijo, 2009). Por otro lado, la interacción genotipo x ambiente se evalúa como la diferenciación en comportamiento de las variedades en distintas regiones (Vallejo & Estrada 2002). Estas evaluaciones de genotipos en diferentes ambientes son indispensables para estudios genéticos, dado que la respuesta respectiva cambia de una zona a otra (Muñoz, 2012) y contribuye a la selección de genotipos de acuerdo a los objetivos del fitomejorador (Brancourt & Lecomte, 2003; Coutiño & Vidal, 2003).

La interacción genotipo×ambiente ( $G \times A$ ), se manifiesta cuando las condiciones ambientales repercuten en los efectos diferenciales de los genotipos (Muñoz, 2012). Es por ello, que la selección de genotipos debe incluir aquellos de alto potencial de rendimiento, que manifiesten estabilidad en la producción cuando son sembrados en diferentes condiciones ambientales (Magari & Kang, 1997).

### 3. Metodología

- **Objetivo 1.** Preseleccionar genotipos de papa criolla (*S. tuberosum* grupo Phureja) de menor susceptibilidad a *R. solani* Kühn.

#### 3.1 Localización de prueba de selección de papa criolla

El trabajo se desarrolló en un lote comercial con antecedentes de presencia del patógeno *R. solani*, ubicado en el corregimiento de Mapachico, Pasto-Nariño, a 7 kilómetros de la ciudad de Pasto (Tabla 1).

Tabla 1. *Condiciones climáticas del municipio de Pasto para el año 2020.*

| Localidad | Altura<br>(m.s.n.m) | Latitud       | Longitud        | Precipitación<br>(mm/año) | Humedad<br>relativa<br>(%) | Temperatura<br>(°C) |
|-----------|---------------------|---------------|-----------------|---------------------------|----------------------------|---------------------|
| Pasto     | 2720                | 1°14'0.8543"N | 77°18'52.230" W | 874.7                     | 75.9                       | 17.1                |

#### 3.2 Material Vegetal de prueba de selección de genotipos de papa criolla

La investigación se realizó con la colección de trabajo de papas criollas perteneciente al Grupo de investigación de Sanidad Vegetal (GRISAV) de la Universidad de Nariño. Los genotipos se han denominado como: Aguacata, Borreguera, Cachona, Calavera Negra, Chaucha Tornilla, Criolla Dorada, Criolla NN, Criolla Colombia, Criolla Galeras (Figura 2), Criolla Latina, Guaneña, Huevo de Indio, Malvaseña, Mambera, Ñoña, Punte, Ratona, Ratona Amarilla (Figura 3), Ratona Morada, Ratona Rosada, Ratona Roja, Tornilla Roja, Uvilla, Yema de Huevo y Tornilla Negra (Figura 4).



**Figura 2. Genotipos de papa criolla. A) Aguacata, B) Borreguera, C) Cachona, D) Calavera Negra, E) Chaucha Tornilla, F) Criolla Dorada, G) Criolla NN, H) Criolla Colombia e I) Criolla Galeras.**

Fuente. Este estudio.



**Figura 3. Genotipos de papa criolla. J) Criolla Latina, K) Guaneña, L) Huevo de Indio, M) Malvaseña, N) Mamberra, Ñ) Ñoña, O) Punte, P) Ratona y Q) Ratona Amarilla.**

Fuente. Este estudio.



**Figura 4. Genotipos de papa criolla. R) Ratona Morada, S) Ratona Rosada, T) Ratona Roja, U) Tornilla Roja, V) Uvilla, W) Yema de Huevo y X) Tornilla Negra.**

Fuente. Este estudio.

### **3.3 Área y diseño experimental de prueba de selección de genotipos de papa criolla**

En el lote seleccionado se estableció el ensayo en un área de 1320 m<sup>2</sup> (Figura 5). Se implementó un diseño de bloques completos al azar (BCA) con 25 tratamientos (Genotipos de papa criolla) y 3 repeticiones. Cada unidad experimental estuvo constituida por 4 surcos a 1 m de distancia y cada surco con 4 m de longitud para un área de 16 m<sup>2</sup>. En cada surco se sembraron 11 plantas a 0,35 metros de distancia entre ellas y a 1 m entre surco para un total de 44 plantas por tratamiento.



**Figura 5. Establecimiento de prueba de selección de la colección de trabajo de genotipos de papa criolla (*S. tuberosum* grupo Phureja).**

Fuente. Este estudio

### 3.4 Mapa de campo de prueba de selección de genotipos de papa criolla

A cada genotipo de evaluación se le asignó una posición aleatoriamente en un diseño de bloques completos al azar con tres repeticiones (Figura 6).

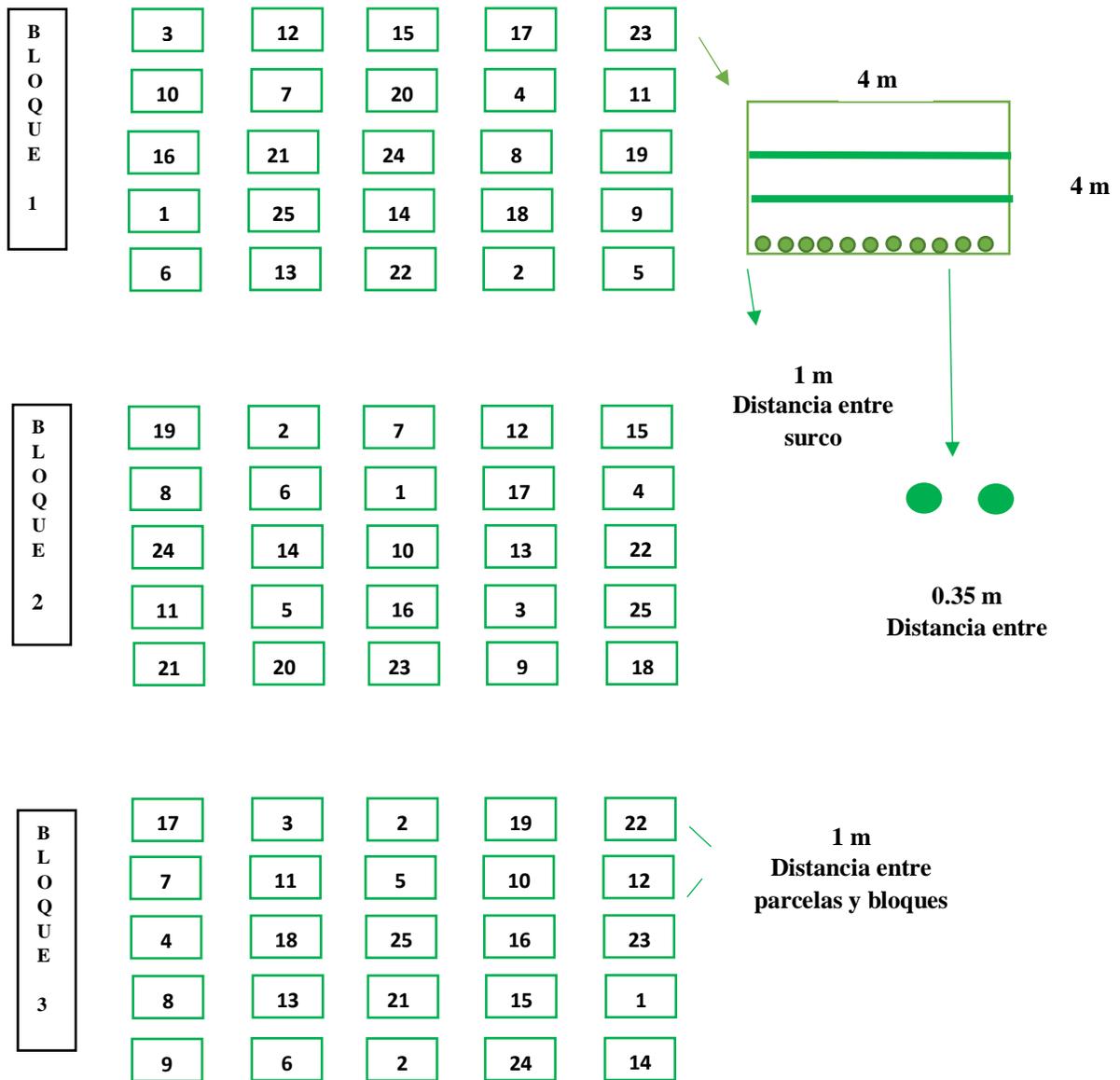


Figura 6. Mapa de campo de prueba de selección de genotipos de papa criolla (*S. tuberosum* grupo Phureja).

Fuente. Este estudio

### 3.5 Manejo agronómico de prueba de selección de genotipos de papa criolla

**Preparación y adecuación del área experimental:** Para el control de arvenses se realizó control químico con la aplicación de 3 L.ha<sup>-1</sup> de glifosato, transcurrido un mes se realizó la preparación del terreno con rastra de tiro y arado de cincel, en la última pasada se incorporaron 3 bultos de cal dolomita. Veinte días después según el arreglo espacial planteado se trazó con estacas la distancia de los surcos y se realizó el surcado en cada lote experimental.

**Fertilización:** Los ensayos se manejaron técnicamente en la parte de nutrición, se realizaron dos aplicaciones de fertilizante, la primera en etapa de emergencia utilizando 13-26-6 (NPK) y la segunda en etapa de formación de tallos utilizando 15-15-15 (NPK), cada aplicación en una dosis de 500 kg. ha<sup>-1</sup>.

**Aporque:** Se realizó el primer aporque a los treinta días después de la siembra junto con la segunda aplicación de abono (15-15-15- NPK) y después de quince días se realizó un segundo aporque.

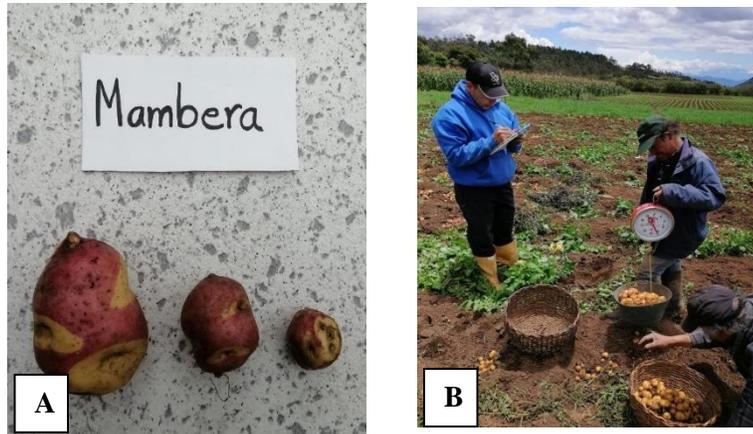
**Manejo Sanitario:** Para el control de enfermedades, cada diez días después de la emergencia total, se hizo una rotación entre Fosetil aluminio (3.0 g/L de agua), Propamocarb (2 cc/L de agua) y Dimetomorfh (2.0 g/L de agua) para el control de goma (*Phytophthora infestans*) y simultáneamente para el manejo de plagas de la parte aérea y subterránea, se emplearon las fórmulas comerciales: Tiametoxan más Lambdacihalotrina (1.0 cc/L de agua), Dimetoato (1.5 cc por litro), Thyociclan Hidrogenoxalato (1.5 cc/L de agua) y Metomyl (20 cc/L de agua), principalmente plagas como: gusano blanco (*Premnotrypes vorax*), polilla de la papa (*Tecia solanivora* y *Phthorimaea operculella*), Chisa (*Ancognatha scarabaeoides* y *Phyllophaga obsoleta*), mosca blanca (*Trialeurodes vaporariorum*) y trips (*Frankliniella tuberosi* y *Thrips palmi*).

### 3.6 Variables evaluadas en prueba de selección de genotipos de papa criolla

**Incidencia de *R. solani*:** Se realizaron las observaciones sobre los dos surcos centrales de cada parcela durante el ciclo del cultivo, la primera a los 30 días después de la siembra, donde se evaluó la totalidad de plantas emergidas y aquellas que presentaron emergencia tardía, en estos sitios se escarbó y se observaron síntomas de quemazón y muerte de brotes. Posteriormente en etapa de floración se evaluaron síntomas como: enrollamiento de hojas, amarillamiento, enanismo y formación de lesiones basales en el tallo, finalmente al momento de la cosecha se determinó la afectación del patógeno sobre el total de los tubérculos producidos, evidenciándose síntomas de deformación del tubérculo.

Para determinar el porcentaje de incidencia en cada una de las tres evaluaciones se aplicó la fórmula  $\text{Incidencia} = (\text{Número de individuos afectados} / \text{Total de individuos}) * 100$ .

**Rendimiento comercial:** En el momento de cosecha, se realizó la evaluación sobre las plantas que llegaron a ciclo final del cultivo en los dos surcos centrales de cada parcela. Se tomó como referente de clasificación de tamaño de tubérculo la resolución 3168 de 2015 del ICA, para la especie *Solanum phureja* así: diámetro de tubérculo grande entre 40 y 49 mm, mediano entre 30 y 39 mm, pequeño entre 20 y 29 mm y tubérculos deformes (Figura 7A). Cada categoría se pesó y contó por cada sitio (Figura 7B) y la suma de tubérculos grandes y medianos se consideró rendimiento comercial por planta, el cual se transformó en toneladas por hectárea.



**Figura 7. Genotipos de papa criolla. A) Clasificación y B) Peso y conteo de tubérculos.**

Fuente. Este estudio

**Criterios de selección de genotipos de menor susceptibilidad a *R. solani*:** Los genotipos se seleccionaron teniendo en cuenta la menor afectación de *R. solani* en etapa de emergencia, floración y cosecha y mayor rendimiento comercial.

### 3.7 Análisis estadístico de prueba de preselección de genotipos de papa criolla

Se utilizó el programa estadístico R-studio versión 1.4. Los registros de cada variable se llevaron a una tabla de Excel y se sometieron a un análisis de varianza ( $\alpha=0,05$ ) y se procedió a realizar una prueba de comparación de medias de Duncan. Finalmente se realizó un análisis de correlación de Pearson, para establecer el grado de asociación entre las variables de estudio.

Además, se realizó la transformación para los datos obtenidos en porcentaje con la fórmula:  $\text{Arcoseno } \sqrt{\text{Dato\%} / 100}$ .

- **Objetivo 2.** Determinar la reacción de genotipos preseleccionados de papa criolla (*S. tuberosum* grupo Phureja) a *R. solani* Kühn en tres municipios del departamento de Nariño.

### 3.8 Localización de genotipos de papa criolla preseleccionados en tres municipios

La investigación se desarrolló en los municipios del departamento de Nariño de mayor producción del cultivo de papa como son Túquerres, Pasto e Ipiales (Tabla 2).

Tabla 2. Condiciones climáticas de los municipios de Túquerres, Pasto e Ipiiales para el año 2021.

| Localidad | Altura<br>(m.s.n.m) | Latitud       | Longitud        | Precipitación<br>(mm/año) | Humedad<br>relativa<br>(%) | Temperatura<br>(°C) |
|-----------|---------------------|---------------|-----------------|---------------------------|----------------------------|---------------------|
| Túquerres | 2843                | 1°05'02" N    | 77°33'58" W     | 1321                      | 84                         | 11.7                |
| Pasto     | 2720                | 1°14'0.8543"N | 77°18'52.230" W | 1197                      | 81                         | 13.1                |
| Ipiiales  | 2945                | 0°50'45.789"N | 77°38'58.832" W | 1138                      | 82                         | 11.5                |

### 3.9 Material Vegetal de genotipos de papa criolla preseleccionados en tres municipios

Según criterios de selección en la prueba de preselección, se identificaron nueve genotipos de papa criolla que presentaron menor afectación a *R. solani* en etapa diferentes etapas del cultivo (emergencia, floración y cosecha) y mayor rendimiento comercial, procedentes de la colección de trabajo de papas criollas del Grupo de investigación de Sanidad Vegetal de la Universidad de Nariño. Estos genotipos seleccionados fueron: Criolla NN, Mambera, Ratona Amarilla, Ratona Rosada, Criolla Galeras, Criolla Colombia, Tornilla Negra, Punte y Ratona (Figura 8). Además, se utilizó como testigo de referencia el genotipo Ocarina (Figura 9), de mayor frecuencia de siembra en diferentes localidades. Según Ñustez & Rodríguez, (2020), Criolla Ocarina tiene una buena adaptación en las regiones de Nariño, Nudo de los Pastos (2500 a 3200 msnm), altiplano cundiboyacense y un Periodo vegetativo de 120 a 130 días en la Sabana de Bogotá) con resistencia moderada a la goma de la papa (*Phytophthora infestans*) y resistencia a la roña en raíz y tubérculo (*Spongospora subterranea*) y con un rendimiento entre 21.1 y 34 t ha<sup>-1</sup>.



**Figura 8. Genotipos preseleccionados de papa criolla de menor susceptibilidad a *R. solani*. A) Mambera, B) Criolla NN, C) Ratona amarilla, D) Ratona, E) Criolla galeras, F) Ratona rosada, G) Tornilla negra, H) Criolla Colombia e I) Punte.**

Fuente. Este estudio



**Figura 9. Genotipo testigo de referencia, Criolla Ocarina.**

Fuente. Este estudio

### 3.10 Área y diseño experimental de genotipos de papa criolla preseleccionados en tres municipios

Las pruebas se establecieron en las tres localidades de estudio, en cada una se escogió un lote comercial con antecedentes históricos del patógeno *R. solani* (Figura 10A, 10B y 10C). Cada lote contó con un área de 768 m<sup>2</sup>. Se utilizó un diseño de bloques completos al azar (BCA), con 10 tratamientos (Genotipos de papa criolla) y cuatro repeticiones. Cada unidad experimental constituida por 4 surcos a 1 metro de distancia y cada surco con 4 m de longitud para un área de 16 m<sup>2</sup>. En cada surco se sembraron 11 plantas a 0,35 metros de distancia entre ellas y a 1 m entre surco para un total de 44 plantas por tratamiento.

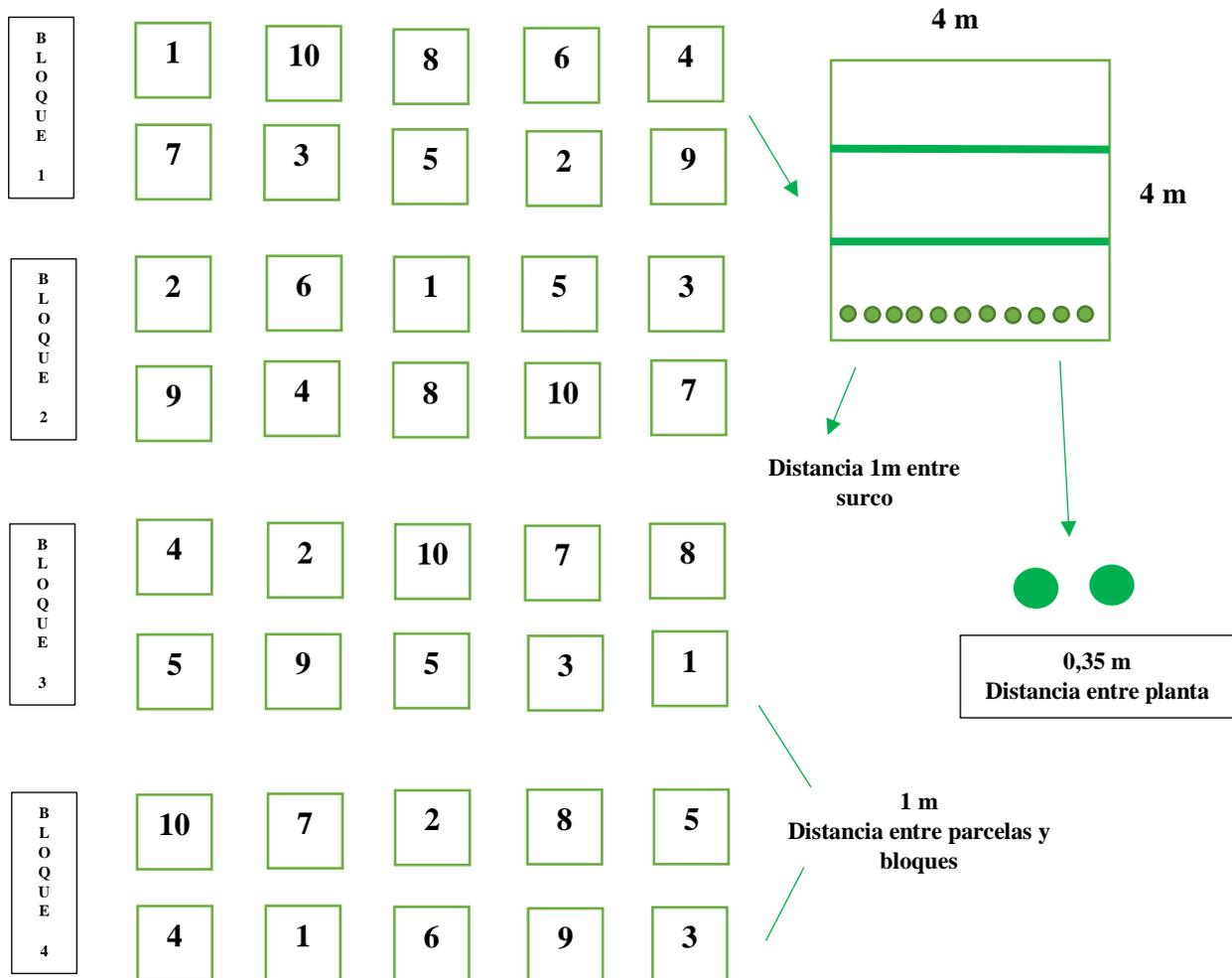


**Figura 10. Lotes experimentales de estudio A) Túquerres, B) Pasto y C) Ipiales.**

Fuente. Este estudio

### 3.11 Mapa de campo de genotipos de papa criolla preseleccionados en las localidades de Pasto, Túquerres e Ipiales

A cada genotipo de evaluación se le estableció una posición aleatoriamente en un diseño de bloques completos al azar con cuatro repeticiones (Figura 11).



**Figura 11.** Mapa de campo del establecimiento de genotipos de papa criolla (*S. tuberosum* grupo Phureja) preseleccionados para las localidades de Pasto, Túquerres e Ipiales.

Fuente. Este estudio

### 3.12 Manejo agronómico de genotipos de papa criolla en tres municipios

**Preparación y adecuación del área experimental:** Para el control de arvenses se realizó control químico con la aplicación de 3 L.ha<sup>-1</sup> de glifosato, transcurrido un mes se realizó la preparación del terreno con rastra de tiro y arado de cincel, en la última pasada se incorporaron 3 bultos de cal dolomita. Veinte días después según el arreglo espacial planteado se trazó con estacas la distancia de los surcos y se realizó el surcado en cada lote experimental.

**Fertilización:** Los ensayos se manejaron técnicamente en la parte de nutrición, se realizaron dos aplicaciones de fertilizante, la primera en etapa de emergencia utilizando 13-26-6 (NPK) y la segunda en etapa de formación de tallos utilizando 15-15-15 (NPK), cada aplicación en una dosis de 500 kg. ha<sup>-1</sup>.

**Aporque:** Se realizó el primer aporque a los treinta días después de la siembra junto con la segunda aplicación de abono (15-15-15- NPK) y después de quince días se realizó un segundo aporque.

**Manejo Sanitario:** Para el control de enfermedades, cada diez días después de la emergencia total, se hizo una rotación entre Fosetil aluminio (3.0 g/L de agua), Propamocarb (2 cc/L de agua) y Dimetomorfh (2.0 g/L de agua) para el control de gota (*Phytophthora infestans*) y simultáneamente para el manejo de plagas de la parte aérea y subterránea, se emplearon las fórmulas comerciales: Tiametoxan más Lambdacihalotrina (1.0 cc/L de agua), Dimetoato (1.5 cc por litro), Thyociclan Hidrogenoxalato (1.5 cc/L de agua) y Metomyl (20 cc/L de agua), principalmente plagas como: gusano blanco (*Premnotrypes vorax*), polilla de la papa (*Tecia solanivora* y *Phthorimaea operculella*), Chisa (*Ancognatha scarabaeoides* y *Phyllophaga*

*obsoleta*), mosca blanca (*Trialeurodes vaporariorum*) y trips (*Frankliniella tuberosi* y *Thrips palmi*).

### 3.13 Variables evaluadas en genotipos de papa criolla preseleccionados en tres municipios

**Incidencia de *R. solani*:** Se realizaron las observaciones sobre los dos surcos centrales de cada parcela durante el ciclo del cultivo, la primera a los 30 días después de la siembra, donde se evaluó la totalidad de plantas emergidas y aquellas que presentaron emergencia tardía, en estos sitios se escarbó y se observaron síntomas de quemazón y muerte de brotes. Posteriormente en etapa de floración se evaluaron síntomas como: enrollamiento de hojas, amarillamiento, enanismo y formación de lesiones basales en el tallo, finalmente al momento de la cosecha se determinó la afectación del patógeno sobre el total de los tubérculos producidos, evidenciándose síntomas de deformación del tubérculo.

Para determinar el porcentaje de incidencia en cada una de las tres evaluaciones se aplicó la fórmula  $\text{Incidencia} = (\text{Número de individuos afectados} / \text{Total de individuos}) * 100$ .

**Rendimiento comercial:** En el momento de cosecha, se realizó la evaluación sobre las plantas que llegaron a ciclo final del cultivo en los dos surcos centrales de cada parcela. Se tomó como referente de clasificación de tamaño de tubérculo la resolución 3168 de 2015 del ICA, para la especie *Solanum phureja* así: diámetro de tubérculo grande entre 40 y 49 mm, mediano entre 30 y 39 mm, pequeño entre 20 y 29 mm y tubérculos deformes. Cada categoría se pesó y contó por cada sitio y la suma de tubérculos grandes y medianos se consideró rendimiento comercial por planta, el cual se transformó en toneladas por hectárea.

### 3.12 Análisis estadístico en genotipos de papa criolla preseleccionados en tres municipios

La interpretación de resultados se realizó de manera manual, con los datos cuantitativos de incidencia y rendimiento, los cuales se sometieron a un análisis de varianza ( $\alpha=0,05$ ) y se procedió a realizar una prueba de comparación de medias de Tukey, de acuerdo a un análisis combinado de

localidades (factor a) y genotipos (factor b) con base al diseño de bloques al azar, con el modelo matemático:

$$Y_{ijk} = \mu + A_j + B_k(j) + T_i + (TA)_{ij} + e_{ijk}.$$

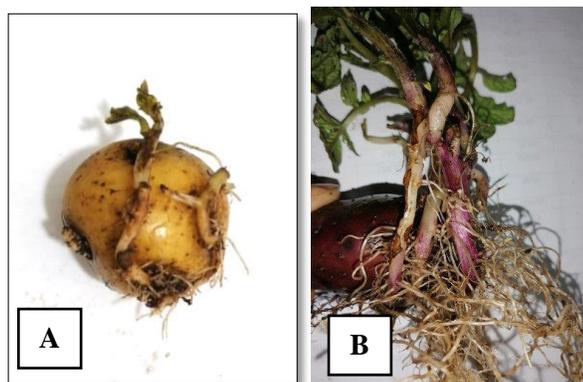
Además, se realizó la transformación para los datos obtenidos en porcentaje con la fórmula:  $\text{Arcoseno } \sqrt{\text{Dato\%} / 100}$ .

#### 4. Resultados y discusión

- **Objetivo 1.** Preseleccionar genotipos de papa criolla (*S. tuberosum* grupo Phureja) de menor susceptibilidad a *R. solani* Kühn.

##### 4.1 Incidencia de *R. solani* en etapas de emergencia, floración y cosecha de prueba de selección de genotipos de papa criolla (Fase I)

En etapa de emergencia la presencia de *R. solani* se evidenció con la quemazón de brotes (Figura 12A) y chancros color marrón (Figura 12B), que originaron el débil desarrollo, secamiento o muerte de la planta, provocando la desuniformidad en las parcelas (Kankam *et al.*, 2021). El análisis de varianza para la variable incidencia en emergencia (Tabla 3), presentó diferencias estadísticas significativas entre genotipos con una incidencia promedio entre 5.74 y 30.97%.



**Figura 12.** Síntomas de *R. solani*. A) Quemazón de brotes y B) Chancro color marrón en brotes.

Fuente. Este estudio

Tabla 3. ANOVA para porcentaje de incidencia en emergencia, floración y cosecha de *R. solani*, de genotipos de papa criolla.

| Fv        | Gl | Cuadrados medios           |                           |                         | F Tabla |
|-----------|----|----------------------------|---------------------------|-------------------------|---------|
|           |    | % Incidencia en emergencia | % Incidencia en floración | % Incidencia en cosecha |         |
| Bloques   | 2  | 25.71 <sup>ns</sup>        | <b>51.43*</b>             | 5.69 <sup>ns</sup>      | 3.19    |
| Genotipos | 24 | <b>129.78*</b>             | <b>186.93*</b>            | <b>141.61*</b>          | 1.75    |
| Error     | 48 | 73.5                       | 11.34                     | 5.21                    |         |

\*Diferencias significativas, <sup>ns</sup> Diferencias no significativas (P≤0.05).

Fuente. Este estudio

La prueba de comparación de medias de Duncan (Tabla 4), evidenció que el genotipo Criolla Colombia con el menor promedio de incidencia en etapa temprana del cultivo (5.74%) fue estadísticamente igual a los genotipos: Criolla Dorada, Mambera, Ratona Rosada y Punte con medias entre 7.93 y 11.87% en condiciones de infestación natural del patógeno, estos resultados son semejantes a los reportados por Betancourth *et al.* (2021a), donde experimentaron la reacción de *R. solani* en la variedad Diacol Capiro y obtuvieron valores de incidencia en emergencia entre el 7.73 y 10.63% .

Estos valores demuestran similar susceptibilidad frente al patógeno de las variedades criollas (Criolla Colombia, Criolla Dorada y Mambera) y blancas (Diacol Capiro) de mayor comercialización a nivel nacional, lo anterior ocasionado por los sistemas de producción en monocultivo de papa en la región. Según Larkin & Brewer (2020), se generan efectos perjudiciales por parte del patógeno en cultivares sembrados consecutivamente, de ahí que la rotación de cultivos alternativos es benéfica para disminuir los efectos producidos por el fitopatógeno en cultivos

recurrentes de papa y disminuir los niveles de inóculo debido a la ausencia de hospedantes preferidos por el hongo.

Tabla 4. Comparación de promedios de Duncan para la variable % Incidencia en emergencia.

| <b>Genotipo</b>         | <b>% Incidencia en emergencia</b> |
|-------------------------|-----------------------------------|
| <b>Uvilla</b>           | 30.97 a                           |
| <b>Calavera Negra</b>   | 27.32 ab                          |
| <b>Huevo de Indio</b>   | 27.08 ab                          |
| <b>Chaucha Tornilla</b> | 26.79 ab                          |
| <b>Criolla NN</b>       | 26.32 ab                          |
| <b>Ñoña</b>             | 24.09 a:c                         |
| <b>Tornilla Roja</b>    | 23.75 a:c                         |
| <b>Malvaseña</b>        | 23.57 a:c                         |
| <b>Ratona Morada</b>    | 21.82 a:d                         |
| <b>Yema de Huevo</b>    | 20.82 a:d                         |
| <b>Ratona Roja</b>      | 20.58 a:d                         |
| <b>Ratona</b>           | 19.44 a:d                         |
| <b>Aguacata</b>         | 18.92 a:d                         |
| <b>Guaneña</b>          | 18.74 a:d                         |
| <b>Tornilla Negra</b>   | 17.55 a:d                         |
| <b>Ratona Amarilla</b>  | 17.46 a:d                         |
| <b>Cachona</b>          | 17.25 a:d                         |
| <b>Borreguera</b>       | 16.51 a:d                         |
| <b>Criolla Galeras</b>  | 15.80 a:d                         |
| <b>Criolla Latina</b>   | 14.99 a:d                         |
| <b>Punte</b>            | 11.87 b:d                         |
| <b>Ratona Rosada</b>    | 11.87 b:d                         |
| <b>Mambera</b>          | 7.93 cd                           |
| <b>Criolla Dorada</b>   | 7.93 cd                           |
| <b>Criolla Colombia</b> | 5.74 d                            |

Los valores seguidos de letras diferentes son significativamente diferentes, según la prueba de Duncan ( $P \leq 0.05$ ).

Fuente. Este estudio

Por otra parte, los genotipos mencionados (Criolla Colombia, Criolla Dorada, Mambera, Ratona Rosada y Punte) presentaron diferencias significativas con el cultivar Uvilla que mostró el mayor valor de incidencia entre (30.97 %) (Tabla 4).

En efecto la presencia de inóculo en el suelo es importante en la patogenicidad de la enfermedad. Según Brierley *et al.* (2016), la contribución relativa del inóculo de la semilla y del suelo influyen en el desarrollo del patógeno, así también, factores como la temperatura del suelo y la edad de la semilla afectan la emergencia y posteriormente afectarán la severidad de la enfermedad. De modo que la ocurrencia de gran parte de las infecciones de *R. solani* se presenta en las primeras etapas de desarrollo de la planta, dado que la resistencia de la planta en etapas avanzadas de infección se beneficia por la respuesta de los mecanismos de defensa (Zrenner *et al.*, 2021).

En etapa de floración, a través de la evaluación visual de *R. solani* se encontraron síntomas como amarillamiento, enanismo (Figura 13A), enrollamiento de hojas (Figura 13 B y C) y lesiones en base del tallo, con una incidencia promedio entre 18.92 y 45% con diferencias significativas entre cultivares (Tabla 3).



**Figura 13. Síntomas de *R. solani*. A) Enanismo en plantas, B y C) Enrollamiento foliar.**

Fuente. Este estudio

En la tabla 5, se determinó que los genotipos Mambera y Ratona Rosada presentaron los menores promedios de incidencia con 18.92%, fueron estadísticamente similares a los genotipos: Ratona Amarilla, Criolla NN, Ratona, Criolla Galeras y Borreguera, con una incidencia media entre 20.29

y 25.12%, estos resultados son similares a los reportados por Khandaker *et al.* (2011), donde el menor promedio de incidencia del germoplasma de papa evaluado fue de 21.80%.

Tabla 5. Comparación de promedios de Duncan para la variable % Incidencia en floración.

| <b>Genotipo</b>         | <b>% Incidencia en floración</b> |
|-------------------------|----------------------------------|
| <b>Aguacata</b>         | 45.00 a                          |
| <b>Ratona Morada</b>    | 42.27 ab                         |
| <b>Guaneña</b>          | 41.03 a:c                        |
| <b>Ñoña</b>             | 40.99 a:c                        |
| <b>Tornilla Roja</b>    | 40.09 a:d                        |
| <b>Ratona Roja</b>      | 39.51 a:d                        |
| <b>Calavera Negra</b>   | 37.24 b:d                        |
| <b>Chaucha Tornilla</b> | 35.50 c:e                        |
| <b>Malvaseña</b>        | 34.64 d:f                        |
| <b>Criolla Latina</b>   | 30.35 e:g                        |
| <b>Cachona</b>          | 29.35 f:h                        |
| <b>Uvilla</b>           | 28.64 g:i                        |
| <b>Criolla Dorada</b>   | 28.40 g:i                        |
| <b>Tornilla Negra</b>   | 27.39 g:i                        |
| <b>Huevo de Indio</b>   | 26.31 g:j                        |
| <b>Yema de Huevo</b>    | 26.13 g:j                        |
| <b>Punte</b>            | 26.13 g:j                        |
| <b>Criolla Colombia</b> | 25.30 g:j                        |
| <b>Borreguera</b>       | 25.12 g:k                        |
| <b>Criolla Galeras</b>  | 24.05 g:k                        |
| <b>Ratona</b>           | 22.86 h:k                        |
| <b>Criolla NN</b>       | 22.56 i:k                        |
| <b>Ratona Amarilla</b>  | 20.29 jk                         |
| <b>Ratona Rosada</b>    | 18.92 k                          |
| <b>Mambera</b>          | 18.92 k                          |

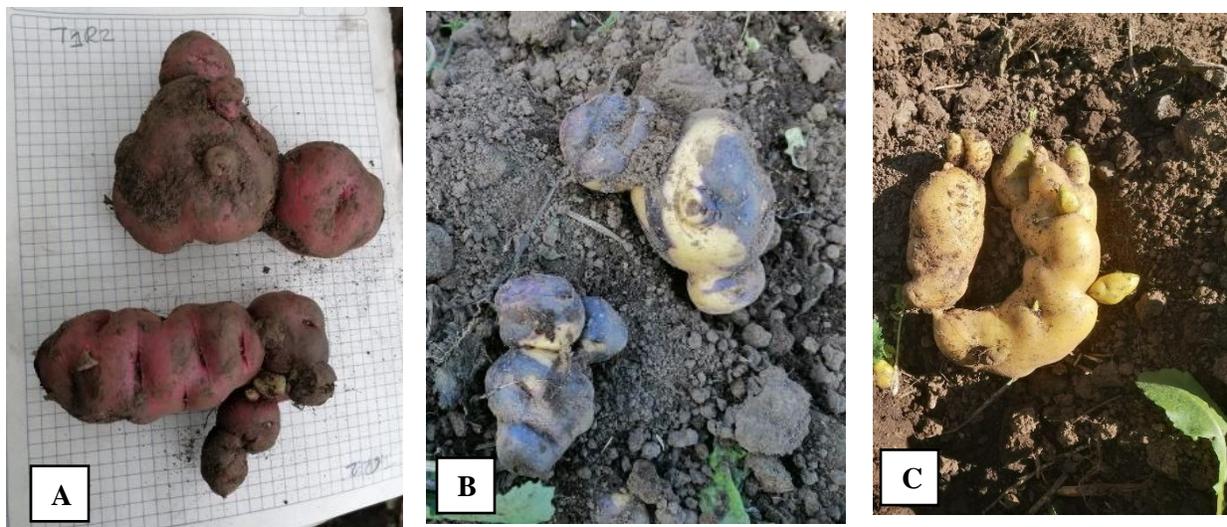
Los valores seguidos de letras diferentes son significativamente diferentes, según la prueba de Duncan ( $P \leq 0.05$ ). Fuente. Este estudio

Los genotipos con menores porcentajes de incidencia en etapa de floración, evidenciaron diferencias significativas con los genotipos Aguacata, Ratona Morada, Guaneña, Ñoña, Tornilla

Roja y Ratona Roja que obtuvieron las mayores incidencias, sin diferencias significativas entre ellos, con valores mayores al 39.51%.

Estas altas incidencias son ocasionadas por la presión del patógeno en el lote de evaluación, que provenía de siembras sucesivas de papa, según estudios realizados por Zhang *et al.* (2021), observaron que al aumentar el grado de inóculo de *R. solani* en el suelo el índice de la enfermedad en cultivares de papa era mayor. De igual forma Genzel *et al.* (2018), afirman que los esclerocios del patógeno pueden permanecer en la superficie y actuar como inóculo transmitido por el suelo acumulándose en el tiempo por las siembras sucesivas del tubérculo.

En etapa final del cultivo, se observó la presencia de tubérculos deformes (Figura 14 A, B y C), un síntoma relacionado con *R. solani* (Kankam *et al.*, 2021), lo cual que disminuye la calidad al comercializarlo.



**Figura 14. Tubérculos deformes. A) Punte, B) Calavera negra y C) Cachona.**

Fuente. Este estudio

Se evidenciaron diferencias significativas entre cultivares para la incidencia del fitopatógeno en cosecha (Tabla 3), el mejor comportamiento para esta variable lo obtuvieron los genotipos Ratona Rosada, Criolla Colombia, Ratona Amarilla, Criolla Galeras y Punte con una incidencia promedio entre el 10.27 y 13.89%, sin diferencias estadísticas (Tabla 6).

Tabla 6. Comparación de promedios de Duncan para la variable % Incidencia en cosecha.

| <b>Genotipo</b>         | <b>% Incidencia en cosecha</b> |
|-------------------------|--------------------------------|
| <b>Aguacata</b>         | 32.43 a                        |
| <b>Malvaseña</b>        | 31.63 ab                       |
| <b>Chaucha Tornilla</b> | 30.02 ab                       |
| <b>Cachona</b>          | 29.37 ab                       |
| <b>Ratona Roja</b>      | 28.61 a:c                      |
| <b>Borreguera</b>       | 28.20 bc                       |
| <b>Tornilla Roja</b>    | 24.83 c                        |
| <b>Huevo de Indio</b>   | 20.63 d                        |
| <b>Ñoña</b>             | 20.36 de                       |
| <b>Criolla Latina</b>   | 18.10 d:f                      |
| <b>Criolla Dorada</b>   | 17.64 d:f                      |
| <b>Uvilla</b>           | 17.57 d:f                      |
| <b>Calavera Negra</b>   | 17.00 d:f                      |
| <b>Ratona</b>           | 16.98 d:f                      |
| <b>Ratona Morada</b>    | 16.62 d:f                      |
| <b>Yema de Huevo</b>    | 16.45 d:f                      |
| <b>Tornilla Negra</b>   | 16.16 ef                       |
| <b>Guaneña</b>          | 15.63 fg                       |
| <b>Mambera</b>          | 15.33 f:h                      |
| <b>Criolla NN</b>       | 14.54 f:h                      |
| <b>Punte</b>            | 13.89 f:i                      |
| <b>Criolla Galeras</b>  | 11.68 g:i                      |
| <b>Ratona Amarilla</b>  | 11.29 hi                       |
| <b>Criolla Colombia</b> | 11.20 hi                       |
| <b>Ratona Rosada</b>    | 10.27 i                        |

Los valores seguidos de letras diferentes son significativamente diferentes, según la prueba de Duncan ( $P \leq 0.05$ ). Fuente. Este estudio

Estas incidencias bajas en cosecha, se debe a la variabilidad de respuesta de los genotipos de papa por su resistencia a *R. solani* (Carrión *et al.*, 2017).

Además, los anteriores genotipos, presentaron diferencias significativas en relación al grupo de mayor porcentaje de incidencia en cosecha, con promedios entre 28.61 y 32.43% correspondiente a los cultivares: Ratona Roja, Cachona, Chaucha Tornilla, Malvaseña y Aguacata, sin diferencias significativas.

La mayor presencia de tubérculos deformes es ocasionada por el alto grado de afectación del patógeno en estolones, que provoca deformación de los tubérculos, considerando que *Rhizoctonia* produce una toxina con efecto regulador del crecimiento, la cual puede ser parcialmente responsable de las malformaciones (Morales *et al.*, 2018).

Según Hu *et al.* (2018), las fitotoxinas producidas por *R. solani* como el ácido fenilacético (PAA), tres derivados hidroxilo (OH-) y uno metoxi (MeO-) de (PAA), son cruciales en el proceso de parasitismo e infección de las plantas, influyendo en las actividades reguladoras del crecimiento vegetal y la fitotoxicidad en otras especies de plantas.

Igualmente, las lesiones ocasionadas por el patógeno interrumpen el suministro de fotosintatos, que conducen a la formación de tubérculos aéreos, pequeños o deformes (Jonhson & Leach, 2020), incrementando la papa de desecho y disminuyendo su comercialización.

Desde el punto de vista de Samsatly *et al.* (2018), el encontrar pocas variedades de papa con resistencia al patógeno se atribuye a factores genéticos, puesto que intervienen genes de resistencia en la planta para que la infección se disminuya. Lo anterior confirmado por estudios de Gualoto (2019), donde al inocular *R. solani* en tubérculos de papa, fueron activados genes de resistencia de la planta al ser accionados por las hifas del patógeno.

Estudios realizados por Genzel *et al.* (2018), encontraron que existen genes relacionados con la defensa asociados con el ácido jasmónico/etileno - (PR-2) y vías dependientes de ácido salicílico (PR-1, PR-3 y PR-10) detectados en raíces y brotes a los 3 y 6 días después de la inoculación del patógeno. Así mismo Samsatly *et al.* (2016), proporcionaron evidencia sobre la participación de

genes de *R. solani* [RsolPDX1 (KF620111.1), RsolPDX2 (KF620112.1) y RsolPLR (KJ395592.1)] vía biosintética de la vitamina B6, como antioxidante protector del estrés frente a ROS (Especies reactivas de oxígeno) que previene la expansión del estrés oxidativo cuando ocasionado por la infección del patógeno.

Las incidencias del patógeno encontradas en las tres fases de evaluación, evidenciaron que no se presentó resistencia tipo vertical, dado que todas las plantas mostraron afectación en todo el ciclo del cultivo. Según, Carreño *et al.* (2007), la variabilidad del patógeno, hace que la resistencia vertical no sea duradera. Lo anterior debido a que esta forma de resistencia se evidencia invulnerable a una raza fisiológica del patógeno, pero ante la aparición de nuevas razas, pierde su efectividad, por tal razón es de corta duración en el campo (Torres, 2002)

#### 4.2 Producción de genotipos de papa criolla grupo Phureja en prueba de selección (Fase I)

Para los diferentes genotipos de estudio se estimaron visualmente las categorías de tamaño de tubérculos grandes y medianos. El análisis de varianza (Tabla 7), para la variable número de tubérculos grandes por planta presentó diferencias significativas, se encontró promedios entre 0.77 y 6.33 tubérculos grandes por planta.

Tabla 7. ANOVA para número de tubérculos grandes, medianos y rendimiento comercial ( $t.ha^{-1}$ ) de genotipos de papa criolla.

| Fv        | Gl | Cuadrados medios             |                               |                                | F Tabla |
|-----------|----|------------------------------|-------------------------------|--------------------------------|---------|
|           |    | Número de tubérculos grandes | Número de tubérculos medianos | Rendimiento comercial (t ha-1) |         |
| Bloques   | 2  | 0.204 <sup>ns</sup>          | 0.443 <sup>ns</sup>           | 1.33 <sup>ns</sup>             | 3.19    |
| Genotipos | 24 | <b>7.955*</b>                | <b>12.607 *</b>               | <b>65.95*</b>                  | 1.75    |
| Error     | 48 | 0.539                        | 0.861                         | 4.16                           |         |

\*Diferencias significativas, <sup>ns</sup> Diferencias no significativas ( $P \leq 0.05$ ).

Fuente. Este estudio

En la prueba de Duncan (Tabla 8), se determinó que el genotipo Ratona Rosada con el mayor número de tubérculos grandes por planta de 6.33, fue estadísticamente similar a los genotipos Ratona Amarilla, Criolla Galeras, Borreguera, Mambera y Criolla NN con medias entre 5.10 y 5.53 tubérculos grandes por planta.

Tabla 8. Comparación de promedios de Duncan para la variable número de tubérculos grandes por planta de papa criolla.

| Genotipo                | Número de tubérculos grandes por planta |
|-------------------------|---|
| <b>Ratona Rosada</b>    | 6.33 a                                  |
| <b>Criolla NN</b>       | 5.53 ab                                 |
| <b>Mambera</b>          | 5.50 ab                                 |
| <b>Borreguera</b>       | 5.40 ab                                 |
| <b>Criolla Galeras</b>  | 5.23 a:c                                |
| <b>Ratona Amarilla</b>  | 5.10 a:d                                |
| <b>Punte</b>            | 4.60 b:d                                |
| <b>Tornilla Negra</b>   | 3.97 c:e                                |
| <b>Cachona</b>          | 3.87 d:f                                |
| <b>Ratona</b>           | 3.27 e:g                                |
| <b>Criolla Colombia</b> | 3.17 e:g                                |
| <b>Criolla Dorada</b>   | 2.87 e:h                                |
| <b>Tornilla Roja</b>    | 2.77 e:i                                |
| <b>Calavera Negra</b>   | 2.60 e:i                                |
| <b>Aguacata</b>         | 2.60 e:i                                |
| <b>Uvilla</b>           | 2.50 f:i                                |
| <b>Criolla Latina</b>   | 2.50 f:i                                |
| <b>Malvaseña</b>        | 2.43 g:i                                |
| <b>Ratona Roja</b>      | 2.17 g:j                                |
| <b>Chaucha Tornilla</b> | 2.13 g:j                                |
| <b>Huevo de Indio</b>   | 1.53 h:k                                |
| <b>Ñoña</b>             | 1.43 i:k                                |
| <b>Yema de Huevo</b>    | 0.90 jk                                 |
| <b>Guaneña</b>          | 0.83 jk                                 |
| <b>Ratona Morada</b>    | 0.77 k                                  |

Los valores seguidos de letras diferentes son significativamente diferentes, según la prueba de Duncan ( $P \leq 0.05$ ).  
Fuente. Este estudio

El anterior grupo, presentó diferencias significativas respecto al grupo de los menores promedios entre 0.77 y 1.53 tubérculos grandes por planta conformado por los genotipos: Ratona Morada, Guaneña, Yema de Huevo, Ñoña y Huevo de Indio, sin diferencias significativas.

La segunda categoría de tubérculos medianos, mostró diferencias significativas (Tabla 7). En la tabla 9, se encontró el genotipo Ratona Amarilla con el mayor número de tubérculos medianos por planta (11.07), presentó diferencias significativas respecto al grupo formado por los genotipos Criolla Colombia, Criolla Galeras, Ratona, Ratona Rosada, y Mambera con promedios entre 8.13 y 9.07 tubérculos medianos por planta sin diferencias significativas, siendo estos genotipos los de mayor valor para esta variable. De igual manera se identificó un grupo con los menores promedios entre 2.40 y 3.73 tubérculos medianos por planta (Cachona, Chaucha Tornilla, Aguacata y Malvaseña) sin diferencias significativas entre ellos.

Tabla 9. Comparación de promedios de Duncan para la variable número de tubérculos medianos por planta de papa criolla.

| <b>Genotipo</b>         | <b>Número de tubérculos medianos por planta</b> |     |
|-------------------------|---|-----|
| <b>Ratona Amarilla</b>  | 11.07   | a   |
| <b>Mambera</b>          | 9.07  | b   |
| <b>Ratona Rosada</b>    | 8.40  | bc  |
| <b>Ratona</b>           | 8.23  | bc  |
| <b>Criolla Galeras</b>  | 8.20  | bc  |
| <b>Criolla Colombia</b> | 8.13  | b:d |
| <b>Calavera Negra</b>   | 7.20  | c:e |
| <b>Guaneña</b>          | 6.83  | c:f |
| <b>Criolla Dorada</b>   | 6.50  | d:f |
| <b>Tornilla Negra</b>   | 6.37  | ef  |
| <b>Borreguera</b>       | 6.33  | ef  |
| <b>Yema de Huevo</b>    | 6.07  | e:g |
| <b>Criolla Latina</b>   | 5.63  | e:h |
| <b>Ratona Morada</b>    | 5.50  | e:i |
| <b>Uvilla</b>           | 5.47  | e:i |
| <b>Ñoña</b>             | 5.23  | f:j |
| <b>Huevo de Indio</b>   | 5.20  | f:j |
| <b>Punte</b>            | 5.17  | f:k |
| <b>Criolla NN</b>       | 4.40  | g:k |
| <b>Ratona Roja</b>      | 4.13  | h:k |
| <b>Tornilla Roja</b>    | 4.10  | h:k |
| <b>Malvaseña</b>        | 3.73  | i:l |
| <b>Aguacata</b>         | 3.53  | j:l |
| <b>Chaucha Tornilla</b> | 3.43  | kl  |
| <b>Cachona</b>          | 2.40  | l   |

Los valores seguidos de letras diferentes son significativamente diferentes, según la prueba de Duncan ( $P \leq 0.05$ ). Fuente. Este estudio

Estos resultados son superiores a los reportados por Achicanoy & Mera (2018), que en investigaciones de papa criolla obtuvieron los mayores promedios entre 2 y 2.57 para tubérculos grandes por planta y de 4.07 y 4.73 para tubérculos medianos por planta, al respecto este estudio presentó similitud para los menores promedios de las dos categorías en la presente investigación.

Las diferencias significativas encontradas para el número de tubérculos por planta se deben a que este componente es determinado por el factor genético, ambiental y patogénico. De igual manera, el tamaño del tubérculo es influenciado por el manejo agronómico que se emplea en el cultivo (Latorre & Villamizar, 2019), dado que para la presente evaluación no se realizó aplicaciones de fungicidas selectivos para *R. solani*, ocurriendo infestación natural del patógeno, que afectó brotes y estolones dando como resultado variaciones en número y tamaño de tubérculo entre los genotipos.

Estudios realizados por Núñez *et al.* (2022), en interacción genotipo x ambiente en cultivares de papa criolla, encontraron que la mayor altitud afectó variables de productividad, aumentando la producción de tubérculos grandes y la disminución de tubérculos pequeños en algunos cultivares.

Según Struik. (2007), un mayor número de tubérculos implica una competencia entre vertederos que produce tubérculos de tamaño homogéneo. Así mismo otro, factor influyente para el número de tubérculos, son las temperaturas bajas que hacen más precoces los procesos de inducción de tuberización y aumentan el periodo de llenado de tubérculos (Helder *et al.*, 1993)

Para el rendimiento comercial, se tomó en cuenta la suma de tubérculos grandes y medianos, los cuales son comercializados por el agricultor. El análisis de varianza para esta variable de peso promedio en toneladas por hectárea de tubérculos comerciales de los genotipos permitió evidenciar diferencias significativas (Tabla 7). Los promedios oscilaron entre 6.79 y 23.39 t.ha<sup>-1</sup> (Tabla 10), superiores a los reportados por Seminario *et al.*(2021), que al evaluar la productividad de quince cultivares de papa Phureja en diferentes ambientes, obtuvieron rendimientos entre 5 y 11 t.ha<sup>-1</sup>.

Tabla 10. Comparación de promedios de Duncan para la variable rendimiento comercial ( $t\ ha^{-1}$ ) de papa criolla.

| Genotipo                | Rendimiento comercial ( $t\ ha^{-1}$ ) |
|-------------------------|--|
| <b>Criolla Galeras</b>  | 23.39 a                                |
| <b>Ratona Rosada</b>    | 21.25 ab                               |
| <b>Ratona Amarilla</b>  | 20.49 a:c                              |
| <b>Borreguera</b>       | 18.56 b:d                              |
| <b>Mambra</b>           | 17.73 b:e                              |
| <b>Criolla NN</b>       | 17.42 c:e                              |
| <b>Criolla Colombia</b> | 15.94 d:f                              |
| <b>Tornilla Negra</b>   | 15.08 d:g                              |
| <b>Cachona</b>          | 14.77 e:h                              |
| <b>Punte</b>            | 13.24 f:i                              |
| <b>Ratona</b>           | 12.38 f:j                              |
| <b>Calavera Negra</b>   | 11.91 g:j                              |
| <b>Tornilla Roja</b>    | 11.37 g:k                              |
| <b>Aguacata</b>         | 11.00 h:k                              |
| <b>Malvaseña</b>        | 10.99 h:k                              |
| <b>Chaucha Tornilla</b> | 9.57 i:l                               |
| <b>Uvilla</b>           | 9.56 i:l                               |
| <b>Ñoña</b>             | 9.55 i:l                               |
| <b>Huevo de Indio</b>   | 9.43 i:l                               |
| <b>Criolla Dorada</b>   | 9.31 i:l                               |
| <b>Yema de Huevo</b>    | 9.19 j:l                               |
| <b>Guaneña</b>          | 8.50 j:l                               |
| <b>Ratona Roja</b>      | 7.72 kl                                |
| <b>Criolla Latina</b>   | 7.40 kl                                |
| <b>Ratona Morada</b>    | 6.79 l                                 |

Los valores seguidos de letras diferentes son significativamente diferentes, según la prueba de Duncan ( $P \leq 0.05$ ).  
Fuente. Este estudio

Se determinaron dos grupos con los mayores rendimientos con diferencias estadísticas sobre el grupo de los menores rendimientos. El primer grupo constituido por los genotipos: Ratona

Amarilla, Ratona Rosada y Criolla Galeras con medias entre 20.49 y 23.39 t.ha<sup>-1</sup> y el segundo grupo formado por los genotipos Mambera y Borreguera con medias de 17.73 y 18.56 t.ha<sup>-1</sup> respectivamente.

Los rendimientos producidos por los anteriores cultivares, alcanzaron rendimientos superiores al potencial mínimo de producción del cultivar comercial para el país, como lo es Criolla Colombia con 15 t.ha<sup>-1</sup> (Grupo de investigación en papa, 2005), además del rendimiento promedio nacional de papa criolla que es de 14,7 t.ha<sup>-1</sup> (Agronet, 2017). Estos altos rendimientos obtenidos pueden estar influenciados por el efecto genotípico y las condiciones medioambientales (Tirado *et al.*, 2018).

El genotipo Criolla Galeras, presentó el mayor rendimiento con 23.39 t.ha<sup>-1</sup>, siendo un valor inferior al rendimiento potencial del cultivar en condiciones óptimas de 30 t.ha<sup>-1</sup> (Grupo de investigación en papa, 2007), dicha disminución puede deberse al efecto de *R. solani*.

Por otra parte los rendimientos alcanzados en los genotipos: Ratona Rosada, Ratona Amarilla y Borreguera, cultivares que se pueden catalogar como nativos, los cuales han pasado por una presión de selección natural (clima, plagas y enfermedades) por varias generaciones (Pumisacho & Sherwood, 2002), que puede estar relacionado a la adaptación de estos genotipos a diferentes condiciones bióticas y abiótica, que les permite producir buenos rendimientos en condiciones de infestación natural del patógeno *R. solani*.

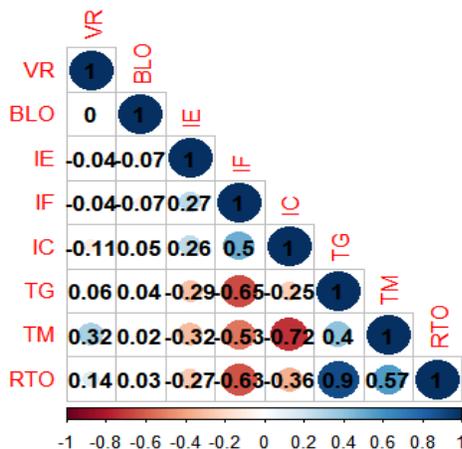
En cuanto al cultivar Mambera, los rendimientos alcanzados en el estudio, se encuentra dentro de los reportados a nivel comercial que oscilan entre 15 y 20 t.ha<sup>-1</sup> (Herrera *et al.*, 2000).

Por otro lado, los genotipos: Ratona Morada, Criolla Latina, Ratona Roja, Guaneña, Yema de Huevo, Criolla Dorada, Huevo de Indio, Ñoña, Uvilla y Chaucha Tornilla presentaron los menores rendimientos con promedios entre 6.79 y 9.57 t.ha<sup>-1</sup> sin diferencias significativas entre ellos (Tabla 2), esto se debe a la incidencia del patógeno durante todo el ciclo del cultivo, afectando tallos,

estolones y raíces, induciendo la reducción del número y tamaño de tubérculos producidos (Kankam *et al.*, 2021) lo que repercute en los bajos rendimientos del cultivo.

Para establecer el grado de relación entre las variables de estudio se realizó el análisis de correlación de Pearson, donde se interpretaron los grados de asociación así: 0= asociación nula, 0.1= asociación pequeña, 0.3= asociación mediana, 0.5= asociación moderada, 0.7= asociación alta y 0.9= asociación muy alta.

Los caracteres que acusaron alto grado de correlación fueron la variable incidencia en floración que obtuvo correlaciones significativas negativas con el número de tubérculos grandes ( $r = -0.65$ ), medianos ( $r = -0.53$ ) y rendimiento ( $r = -0.63$ ) y una correlación positiva con incidencia del hongo en cosecha ( $r = 0.5$ ). De igual forma la variable rendimiento evidenció una correlación positiva significativa con el número de tubérculos grandes (0.90) y medianos (0.57) y finalmente la variable incidencia del patógeno en cosecha alcanzó una correlación significativa negativa con el número de tubérculos medianos (-0.72) (Figura 15).



**Figura 15. Diagrama de correlación para las variables: IE=Incidencia en emergencia, IF=Incidencia en floración, IC= Incidencia en cosecha, TG= Tubérculos grandes, TM= Tubérculos medianos y RTO= Rendimiento comercial.**

Fuente. Este estudio

Los genotipos de mejor comportamiento en estas relaciones fueron Ratona Rosada, Mambera, Ratona Amarilla y Criolla Galeras. Estos genotipos presentaron los menores porcentajes de incidencia en floración (18.92, 18.92, 20.29 y 24.05 %), obtuvieron los mayores valores para las variables: tubérculos grandes (6.33, 5.50, 5.10 y 5.23), medianos (8.4, 9.07, 11.07 y 8.2) y rendimiento (21.25, 17.73, 20.49 y 23.39 t.ha<sup>-1</sup>), y mostraron los menores valores de incidencia del patógeno en cosecha (10.27, 15.33, 11.29 y 11.68%).

Según Kankam *et al.* (2021), el ataque de *R. solani* sobre estolones causa daños en la etapa de tuberización, afectando la cantidad y calidad del tubérculo, causando pérdidas significativas en la producción comercial. Lo anterior, sugiere que la selección de genotipos de papa con bajas incidencias de *R. solani*, conduce a obtener materiales con mejores potenciales de rendimiento.

Los cultivares que presentaron un mayor potencial de rendimiento indican un menor grado de susceptibilidad a *R. solani*, teniendo en cuenta que son rendimientos similares a los reportados comercialmente, lo cual puede estar relacionado a una resistencia genética frente al patógeno (Carrión *et al.*, 2017). Además, la diversidad genética del tubérculo le confiere una fuente de resistencia contra plagas y enfermedades (Li *et al.*, 2018; Zevallos *et al.*, 2021).

- **Objetivo 2.** Determinar la reacción de genotipos preseleccionados de papa criolla (*S. tuberosum* grupo Phureja) a *R. solani* Kühn en tres municipios del departamento de Nariño.

En la prueba de preselección se identificaron nueve genotipos de papa criolla que presentaron menor afectación a *R. solani* y mayor rendimiento comercial, denominados como: Criolla NN, Mambera, Ratona Amarilla, Ratona Rosada, Criolla Galeras, Criolla Colombia, Tornilla Negra, Punte y Ratona, además se utilizó el testigo Ocarina.

**4.3 Incidencia de *R. solani* en etapas de emergencia, floración y cosecha de genotipos preseleccionados de papa criolla grupo Phureja en tres municipios del departamento de Nariño (Fase II).**

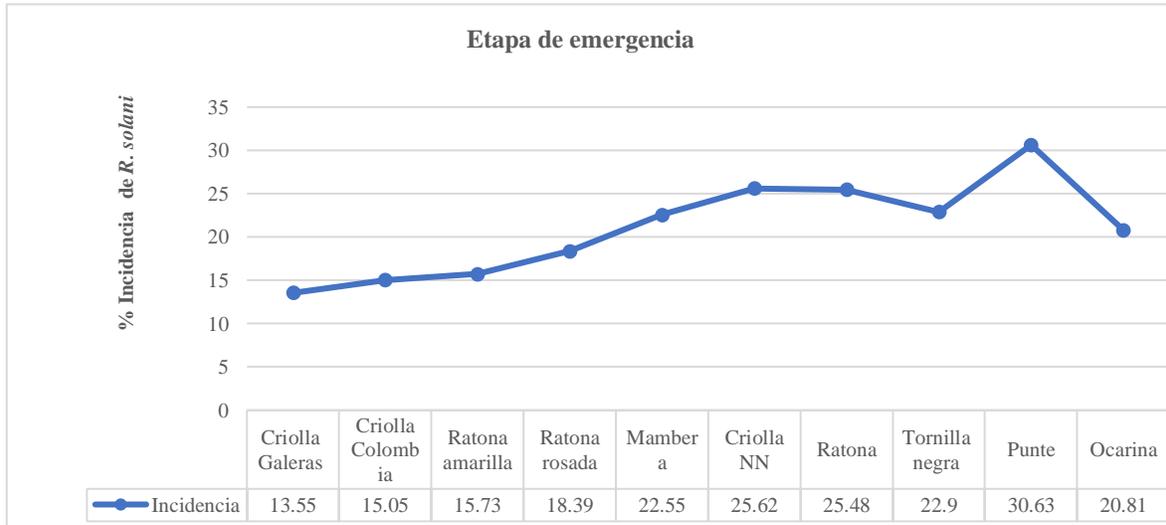
En el análisis de varianza de la tabla 11, para la variable de incidencia de *R. solani* en etapa de emergencia se observó diferencias estadísticas entre genotipos; no se presentaron diferencias significativas para las localidades y la interacción localidad por genotipos (Figura 16).

Tabla 11. ANOVA para porcentaje de incidencia en emergencia, floración y cosecha de *R. solani*, de genotipos de papa criolla en tres municipios del departamento de Nariño.

| Fv                      | Gl | Cuadrados medios           |                           |                         | F Tabla |
|-------------------------|----|----------------------------|---------------------------|-------------------------|---------|
|                         |    | % Incidencia en emergencia | % Incidencia en floración | % Incidencia en Cosecha |         |
| Localidades(a)          | 2  | 67.18 <sup>ns</sup>        | <b>89.92*</b>             | 8.83 <sup>ns</sup>      | 3.1     |
| Genotipos (b)           | 9  | <b>354.40 *</b>            | <b>167.67*</b>            | <b>145.07 *</b>         | 1.99    |
| Localidades x Genotipos | 18 | 56.64 <sup>ns</sup>        | <b>29.07*</b>             | 11.01 <sup>ns</sup>     | 1.73    |
| Error                   | 81 | 45.58                      | 7.99                      | 6.67                    |         |

\*Diferencias significativas, <sup>ns</sup> Diferencias no significativas (P≤0.05).

Fuente. Este estudio



**Figura 16. Comportamiento de diez genotipos de papa criolla (*S. tuberosum* grupo Phureja) en etapa de emergencia, en condiciones de infestación natural de *R. solani*.**

Fuente. Este estudio

En la comparación de medias de Tukey (Tabla 12), para las localidades los ataques de *R. solani* en etapa de emergencia variaron entre 19.84 y 22.43% sin diferencias significativas. Estos resultados fueron superiores a los reportados por Betancourth *et al.* (2021a), donde encontraron en la variedad Diacol Capiro porcentajes de incidencia en emergencia entre 7.73 y 10.63%.

Tabla 12. Comparación de promedios de Tukey para la variable Incidencia de *R. solani* en etapa de emergencia en tres municipios del departamento de Nariño.

| INCIDENCIA EN EMERGENCIA |                    |                     |                     |                      |                       |                     |                     |                      |                    |                      |                    |
|--------------------------|--------------------|---------------------|---------------------|----------------------|-----------------------|---------------------|---------------------|----------------------|--------------------|----------------------|--------------------|
| Localidades<br>(a)       | Genotipos (b)      |                     |                     |                      |                       |                     |                     |                      |                    |                      | Promedio<br>(a)    |
|                          | Criolla Galeras    | Criolla Colombia    | Ratona amarilla     | Ratona rosada        | Mambera               | Criolla NN          | Ratona              | Tornilla negra       | Punte              | Ocarina              |                    |
| Túquerres                | 10.33              | 13.28               | 16.85               | 21.53                | 28.04                 | 26.06               | 27.01               | 24.88                | 31.28              | 25.02                | 22.43 <sup>a</sup> |
| Pasto                    | 11.97              | 18.57               | 13.01               | 16.65                | 21.74                 | 24.05               | 24.26               | 23.55                | 29.54              | 26.04                | 20.94 <sup>a</sup> |
| Ipiales                  | 18.35              | 13.28               | 17.32               | 16.97                | 17.88                 | 26.76               | 25.17               | 20.27                | 31.08              | 11.36                | 19.84 <sup>a</sup> |
| Promedio (b)             | 13.55 <sup>d</sup> | 15.05 <sup>cd</sup> | 15.73 <sup>cd</sup> | 18.39 <sup>bcd</sup> | 22.55 <sup>abcd</sup> | 25.62 <sup>ab</sup> | 25.48 <sup>ab</sup> | 22.90 <sup>abc</sup> | 30.63 <sup>a</sup> | 20.81 <sup>bcd</sup> |                    |

Tukey a 0.05= 3.56 Tukey b 0.05= 9.10

Fuente. Este estudio

Los genotipos con los mayores ataques del patógeno en emergencia corresponden al grupo formado por los genotipos Tornilla Negra, Ratona, Criolla NN y Punte con porcentajes de incidencia entre 22.90 y 30.63%, difirieron estadísticamente respecto a los genotipos Criolla Galeras, Criolla Colombia y Ratona Amarilla que fueron los de menor afectación con medias entre 13.55 y 15,73%, de incidencia, sin diferencias significativas con los elementos de cada grupo.

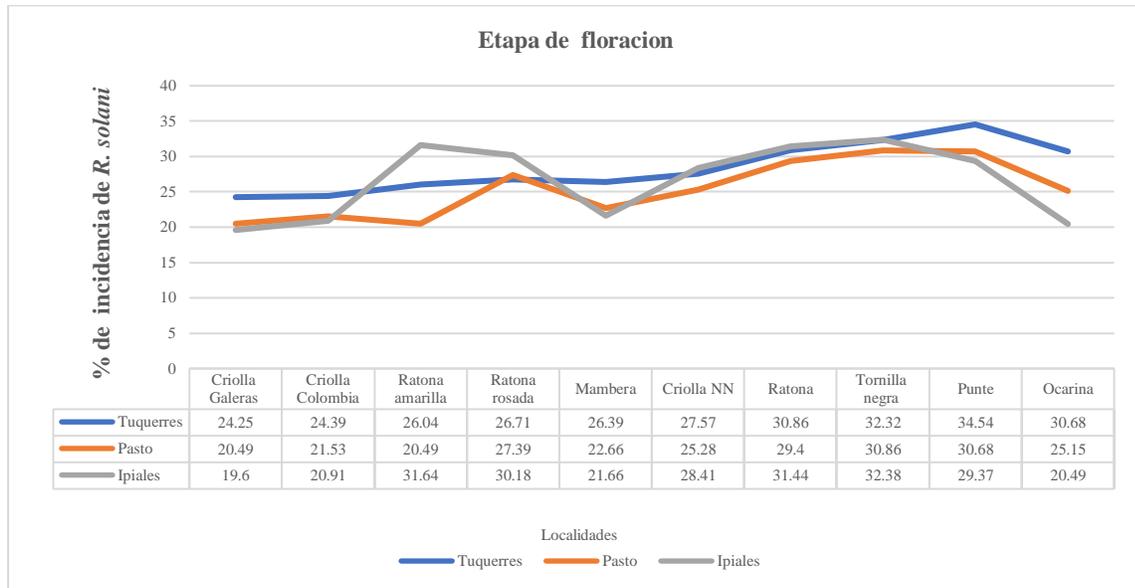
Además, el cultivar Ocarina de mayor frecuencia de siembra en la región, presentó un menor porcentaje de incidencia de 20.81%, con diferencias significativas en relación al cultivar Punte que evidenció la mayor afectación (30.63%) y fue estadísticamente igual al genotipo de menor afectación, Criolla Galeras con 13.55%.

Estudios realizados por Betancourth *et al.* (2021b), encontraron alta susceptibilidad en genotipos de papa *S. tuberosum* grupo Phureja en las primeras etapas de desarrollo frente al patógeno. Así mismo, Dubey *et al.* (2014), afirman que *R. solani* es más agresivo en plantas jóvenes porque, en plantas más viejas, los tejidos resisten el ataque.

Según Desender *et al.* (2007), al momento de infección del hongo se produce la inducción genética que genera unos productos los cuales evitan la invasión de patógenos y el daño de los tejidos vegetales al fortalecer las paredes celulares, generar especies reactivas de oxígeno y otras moléculas para señalización y con efectos directos antimicrobianos como la producción de fitoalexinas y enzimas líticas que pueden destruir al patógeno invasor.

Por otro lado, el cultivar Criolla Galeras que presentó menor daño en etapa temprana del cultivo, proviene de procesos de mejoramiento genético de la Universidad Nacional (Ñústez & Rodríguez, 2020), que le confiere mayor resistencia al patógeno. Así también los cultivares nativos, como Criolla Colombia obtenido de un proceso de selección clonal y el genotipo Ratona Amarilla, poseen amplia variabilidad genética (resistencia plagas, enfermedades y tolerancia a estreses bióticos y abióticos) que les permite adaptarse a diferentes ambientes locales (Marmolejo & Ruiz 2018).

Según la tabla 11, para la variable de incidencia en etapa de floración, se observan diferencias significativas entre localidades, genotipos y para la interacción localidad por genotipo (Figura 17).



**Figura 17. Comportamiento de diez genotipos de papa criolla (*S. tuberosum* grupo Phureja) en etapa de floración, en condiciones de infestación natural de *R. solani*.**

Fuente. Este estudio

En la localidad de Túquerres se observó la mayor afectación por *R. solani* con un promedio de 28.38% con diferencias significativas respecto a las localidades de Pasto e Ipiales (Tabla 13). Al analizar la interacción se observó que, en Túquerres, los cultivares Punte, Tornilla Negra y Ratona obtuvieron las mayores afectaciones entre el 30.86% y 34.54%, difiriendo estadísticamente con el genotipo Criolla Galeras que presentó el menor porcentaje de daño (24.25%).

Tabla 13. Comparación de promedios de Tukey para la variable Incidencia de *R. solani* en etapa de floración en tres municipios del departamento de Nariño.

| INCIDENCIA EN FLORACIÓN |                    |                     |                      |                      |                      |                      |                      |                     |                    |                       |                    |
|-------------------------|--------------------|---------------------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|---------------------|--------------------|-----------------------|--------------------|
| Localidades<br>(a)      | Genotipos (b)      |                     |                      |                      |                      |                      |                      |                     |                    |                       | Promedio<br>(a)    |
|                         | Criolla Galeras    | Criolla Colombia    | Ratona amarilla      | Ratona rosada        | Mamberra             | Criolla NN           | Ratona               | Tornilla negra      | Punte              | Ocarina               |                    |
| <b>Túquerres</b>        | 24.25 <sup>d</sup> | 24.39 <sup>cd</sup> | 26.04 <sup>bcd</sup> | 26.71 <sup>bcd</sup> | 26.39 <sup>bcd</sup> | 27.57 <sup>bcd</sup> | 30.86 <sup>abc</sup> | 32.32 <sup>ab</sup> | 34.54 <sup>a</sup> | 30.68 <sup>abcd</sup> | 28.38 <sup>a</sup> |
| <b>Pasto</b>            | 20.49 <sup>c</sup> | 21.53 <sup>bc</sup> | 20.49 <sup>c</sup>   | 27.39 <sup>ab</sup>  | 22.66 <sup>bc</sup>  | 25.28 <sup>abc</sup> | 29.40 <sup>a</sup>   | 30.86 <sup>a</sup>  | 30.68 <sup>a</sup> | 25.15 <sup>abc</sup>  | 25.39 <sup>b</sup> |
| <b>Ipiales</b>          | 19.60 <sup>b</sup> | 20.91 <sup>b</sup>  | 31.64 <sup>a</sup>   | 30.18 <sup>a</sup>   | 21.66 <sup>b</sup>   | 28.41 <sup>a</sup>   | 31.44 <sup>a</sup>   | 32.38 <sup>a</sup>  | 29.37 <sup>a</sup> | 20.49 <sup>b</sup>    | 26.61 <sup>b</sup> |
| <b>Promedio (b)</b>     | 21.45 <sup>f</sup> | 22.28 <sup>ef</sup> | 26.06 <sup>cde</sup> | 28.09 <sup>abc</sup> | 23.57 <sup>def</sup> | 27.09 <sup>bcd</sup> | 30.57 <sup>ab</sup>  | 31.85 <sup>a</sup>  | 31.53 <sup>a</sup> | 25.44 <sup>cde</sup>  |                    |

Tukey a 0.05= 1.49 Tukey b 0.05=3.81 Tukey axb=6.60

Fuente. Este estudio

En el municipio de Pasto, los cultivares Tornilla negra, Punte, Ratona con promedios entre 29.40 y 30.86% presentaron el mayor porcentaje de daño en floración siendo estadísticamente diferentes, a los genotipos Ratona Amarilla, Criolla Galeras, Criolla Colombia, y Mambera con las menores incidencias entre 20,49 y 22.66%. Además, en Ipiales se diferenciaron claramente dos grupos, el primer grupo que presentó las mayores incidencias entre 28.41 y 32,38%, compuesto por los genotipos Criolla NN, Punte, Ratona Rosada, Ratona, Ratona Amarilla y Tornilla Negra, con diferencias significativas respecto a los cultivares Criolla Galeras, Ocarina, Criolla Colombia y Mambera, que presentaron porcentajes de incidencia inferiores al 21.66%.

De manera general se observó que los genotipos Criolla Galeras, Criolla Colombia, y Mambera con incidencia promedio de 21,45 y 23,57% obtuvieron las menores incidencias del patógeno en comparación con los genotipos Ratona Rosada, Ratona, Punte y Tornilla Negra con porcentajes de incidencia mayores al 28.09%. Sin embargo, el cultivar Ocarina no presentó un comportamiento definido respecto a los grupos de genotipos con las mayores y menores incidencias.

Estos resultados son similares a los reportados por Betancourth *et al.* (2021a), quienes al evaluar la incidencia de *R. solani* en etapa inicio de tuberización que coincide con la etapa de floración en el cultivo de papa, observaron aumentos de la incidencia del patógeno, respecto a la primera evaluación en etapa de emergencia.

Por otra parte, estas afectaciones en floración son contradictorios a lo reportado por Hide *et al.* (1985), donde afirmaron que el desarrollo del cancro de tallo cesa en la base del tallo debajo del suelo después de la emergencia de la planta.

Según Kumar *et al.* (2017), en etapa de floración la patogenicidad de *R. solani* aumenta al tener mayor opción de afectar el sistema radicular formado, que ocasiona enrollamiento de hojas al interferir el transporte de fotoasimilados en la planta por obstrucción del patógeno. Lo anterior



Tabla 14. Comparación de promedios de Tukey para la variable Incidencia de *R. solani* en etapa de cosecha en tres municipios del departamento de Nariño.

| INCIDENCIA EN COSECHA |                      |                      |                     |                     |                    |                     |                     |                     |                    |                    |                    |
|-----------------------|----------------------|----------------------|---------------------|---------------------|--------------------|---------------------|---------------------|---------------------|--------------------|--------------------|--------------------|
| Localidades<br>(a)    | Genotipos (b)        |                      |                     |                     |                    |                     |                     |                     |                    |                    | Promedio<br>(a)    |
|                       | Criolla Galeras      | Criolla Colombia     | Ratona amarilla     | Ratona rosada       | Mambera            | Criolla NN          | Ratona              | Tornilla negra      | Punte              | Ocarina            |                    |
| <b>Túquerres</b>      | 19.01                | 16.38                | 16.28               | 17.98               | 16.41              | 17.92               | 24.33               | 17.72               | 25.3               | 15.42              | 18.67 <sup>a</sup> |
| <b>Pasto</b>          | 17.19                | 19.9                 | 17.35               | 15.71               | 14.84              | 21.34               | 23.22               | 19.81               | 24.85              | 15.67              | 18.99 <sup>a</sup> |
| <b>Ipiales</b>        | 16.02                | 19.71                | 16.3                | 17.64               | 16.08              | 18.63               | 24.5                | 24.74               | 27.12              | 15.22              | 19.60 <sup>a</sup> |
| <b>Promedio (b)</b>   | 17.41 <sup>cde</sup> | 18.66 <sup>cde</sup> | 16.64 <sup>de</sup> | 17.11 <sup>de</sup> | 15.78 <sup>e</sup> | 19.29 <sup>cd</sup> | 24.02 <sup>ab</sup> | 20.76 <sup>bc</sup> | 25.76 <sup>a</sup> | 15.44 <sup>e</sup> |                    |

Tukey a 0.05= 1.36 Tukey b 0.05=3.48

Fuente. Este estudio

Los genotipos Tornilla Negra, Ratona y Punte presentaron la mayor deformidad de tubérculos en cosecha con porcentajes de incidencia mayores al 20.76%, siendo estadísticamente diferentes a los cultivares Ocarina, Mambera, Ratona Amarilla y Ratona Rosada que presentaron las menores incidencias de deformación entre 15.44 y 17.11%, sin diferencias significativas entre ellos.

Los presentes resultados muestran que no hubo efecto ambiental sobre la respuesta de la enfermedad en etapa final del cultivo, dado que el factor genético ejerce gran influencia en la resistencia de la enfermedad (Samsatly *et al.*, 2018).

El efecto patogénico de *R. solani*, está asociado a la inducción de un crecimiento retardado del tejido joven después de la infección o por lesiones directas sobre estolones en formación (Morales *et al.*, 2018; Kankam *et al.*, 2021), dando como resultado tubérculos deformes en la progenie.

Los genotipos Tornilla Negra, Punte y Ratona fueron los genotipos de mayor incidencia en emergencia y floración cuyas afectaciones del patógeno consistentemente se vieron reflejadas con la mayor presencia de tubérculos deformes de estos genotipos en cosecha.

Lo anterior se debe a que existe diferencias de virulencia entre los grupos de anastomosis de *R. solani* (Ferrucho *et al.*, 2012), además de factores genéticos que los están afectando, involucrados en el proceso de infección (Carling, 1996; Das *et al.*, 2014).

Por consiguiente, Bains *et al.* (2002), sugieren que la susceptibilidad de los cultivares depende tanto de la herencia como de la etapa de madurez del cultivo. De igual forma, el efecto de la enfermedad costra negra o rizoctoniasis depende de la cepa del fitopatógeno, la variedad de papa y condiciones ambientales (Kankam *et al.*, 2021).

Los daños ocasionados por *R. solani* en los tres ambientes durante todo el ciclo del cultivo, no evidenciaron resistencia vertical frente al patógeno en el cultivo de papa. Este tipo de resistencia se es gobernada por un gen dominante con efectos mayores (Forbes *et al.*, 2014), donde al momento de infección, se produce una respuesta de Hipersensibilidad (HR), formando unas pequeñas

lesiones necróticas (Pérez & Forbes 2008), y el micelio del hongo muere antes de que el patógeno se reproduzca (Henfling, 1987).

Por otro lado, según Rubio *et al.* (2016), la susceptibilidad del grupo Phureja, se debe a que la reacción frente al patógeno, se basa en genes menores. En el estudio, existieron genotipos que presentaron genes de menor resistencia, lo que indica un efecto en los niveles de incidencia de los genotipos evaluados. Así este tipo de resistencia se la denomina resistencia horizontal, no específica, estable y de campo (Torres, 2002).

Las plantas con este tipo de resistencia, al infectarse con el patógeno, muestran síntomas de menor severidad en comparación con las plantas susceptibles (Herrera, 2019). Por otra parte, el comportamiento de expresión de la enfermedad se debe a la capacidad de la planta para servir como hospedante y su reacción al patógeno que depende de su constitución genética y de la interacción entre el patógeno y los tejidos de la planta (Niks & Linfhout, 2004).

#### **4.4 Producción de genotipos de papa criolla grupo Phureja en tres municipios del departamento de Nariño (Fase II)**

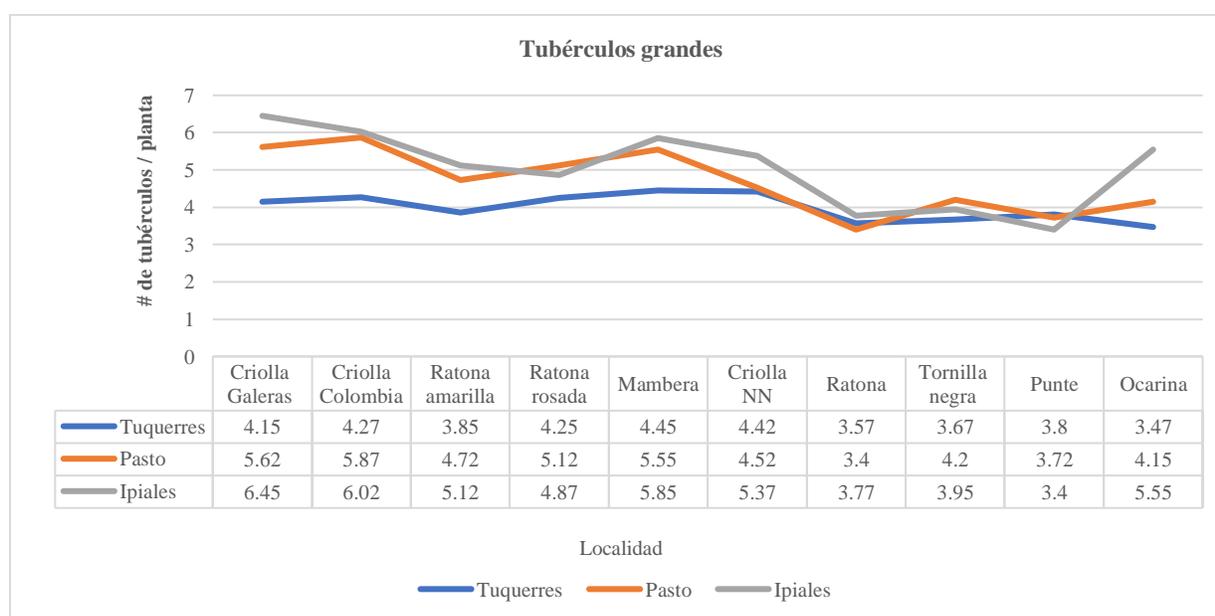
Para la variable números de tubérculos grandes por planta, en el análisis de varianza (Tabla 15), se observó diferencias estadísticas entre localidades, genotipos y la interacción localidad por genotipo (Figura 19).

Tabla 15. ANOVA para las variables número de tubérculos grandes, medianos y rendimiento comercial (t.ha<sup>-1</sup>) de genotipos de papa criolla en tres municipios del departamento de Nariño. .

| Fv                      | Gl | Cuadrados medios             |                               |   | F tabla |
|-------------------------|----|------------------------------|-------------------------------|---|---------|
|                         |    | Número de tubérculos Grandes | Número de tubérculos Medianos | Rendimiento comercial (t.ha <sup>-1</sup> ) |         |
| Localidades(a)          | 2  | <b>0.52 *</b>                | <b>15.08*</b>                 | <b>250.68*</b>                              | 3.1     |
| Genotipos (b)           | 9  | <b>0.27*</b>                 | <b>7.71*</b>                  | <b>81.85*</b>                               | 1.99    |
| Localidades x Genotipos | 18 | <b>0.044*</b>                | <b>1.13*</b>                  | <b>17.58*</b>                               | 1.73    |
| Error                   | 81 | 0.016                        | 0.6                           | 2.32  |         |

\*Diferencias significativas, <sup>ns</sup> Diferencias no significativas (P≤0.05).

Fuente. Este estudio



**Figura 19. Comportamiento de diez genotipos de papa criolla (*S. tuberosum* grupo Phureja) para la producción de tubérculos grandes por planta, en condiciones de infestación natural de *R. solani*.**

Fuente. Este estudio

La tabla de comparación de medias de Tukey (Tabla 16) mostró que el mayor número de tubérculos grandes por planta fue en la localidad de Ipiales con 5 tubérculos por planta, siendo estadísticamente diferente con las localidades de Pasto y Túquerres con 4.7 y 4.0 tubérculos grandes por planta respectivamente.

Estos resultados concuerdan con lo reportado por Betancourth *et al.* (2021a), donde encontraron que la mayor producción de tubérculos grandes de la variedad Diacol Capiro fue en la localidad de Ipiales. Según IGAC, (2004), en esta región existe la presencia de suelos derivados de cenizas y arenas volcánicas con texturas franco arenosas, condiciones que favorece una menor retención de humedad que contribuye a disminuir la diseminación del hongo (Tsor, 2010).

Tabla 16. Comparación de promedios de Tukey para la variable número de tubérculos grandes por planta de papa criolla en tres municipios del departamento de Nariño.

| <b>TUBÉRCULOS GRANDES</b> |                   |                    |                      |                     |                    |                      |                    |                    |                   |                    |                  |
|---------------------------|-------------------|--------------------|----------------------|---------------------|--------------------|----------------------|--------------------|--------------------|-------------------|--------------------|------------------|
| Localidades<br>(a)        | Genotipos (b)     |                    |                      |                     |                    |                      |                    |                    |                   |                    | Promedio<br>(a)  |
|                           | Criolla Galeras   | Criolla Colombia   | Ratona amarilla      | Ratona rosada       | Mamberra           | Criolla NN           | Ratona             | Tornilla negra     | Punte             | Ocarina            |                  |
| Túquerres                 | 4.15 <sup>a</sup> | 4.27 <sup>a</sup>  | 3.85 <sup>a</sup>    | 4.25 <sup>a</sup>   | 4.45 <sup>a</sup>  | 4.42 <sup>a</sup>    | 3.57 <sup>a</sup>  | 3.67 <sup>a</sup>  | 3.8 <sup>a</sup>  | 3.47 <sup>a</sup>  | 4.0 <sup>c</sup> |
| Pasto                     | 5.62 <sup>a</sup> | 5.87 <sup>a</sup>  | 4.72 <sup>abcd</sup> | 5.12 <sup>abc</sup> | 5.55 <sup>ab</sup> | 4.52 <sup>abcd</sup> | 3.4 <sup>d</sup>   | 4.2 <sup>bcd</sup> | 3.72 <sup>d</sup> | 4.15 <sup>cd</sup> | 4.7 <sup>b</sup> |
| Ipiales                   | 6.45 <sup>a</sup> | 6.02 <sup>ab</sup> | 5.12 <sup>abc</sup>  | 4.87 <sup>bc</sup>  | 5.85 <sup>ab</sup> | 5.37 <sup>ab</sup>   | 3.77 <sup>cd</sup> | 3.95 <sup>cd</sup> | 3.4 <sup>d</sup>  | 5.55 <sup>ab</sup> | 5.0 <sup>a</sup> |
| <b>Promedio (b)</b>       | 5.40 <sup>a</sup> | 5.39 <sup>a</sup>  | 4.56 <sup>bcd</sup>  | 4.75 <sup>abc</sup> | 5.28 <sup>ab</sup> | 4.77 <sup>abc</sup>  | 3.58 <sup>e</sup>  | 3.94 <sup>de</sup> | 3.64 <sup>e</sup> | 4.39 <sup>cd</sup> |                  |

Tukey a 0.05= 0.31 Tukey b 0.05=0.79 Tukey axb=1.37

Fuente. Este estudio

Por otra parte, las mayores afectaciones del hongo en etapa de emergencia y floración en la localidad de Túquerres, influyeron en la menor producción de tubérculos grandes en esta zona, evidenciando el efecto patogénico en diferentes fases del cultivo.

Al observar la interacción se evidencia que, en Túquerres no hubo diferencias significativas entre los genotipos, el comportamiento para esta variable fue similar en los cultivares con medias que van desde 3.47 hasta 4.45 tubérculos grandes por planta. En Pasto los cultivares: Mambera, Criolla Galeras y Criolla Colombia obtuvieron el mayor número de tubérculos grandes por planta, superior al 5.55, difiriendo estadísticamente respecto a los genotipos Ratona, Punte y Ocarina que presentaron los menores promedios entre 3.4 y 4.15 tubérculos grandes por planta.

También, la región de Ipiales presentó un grupo diferenciado por tener los mayores promedios de tubérculos grandes por planta, compuesto por los genotipos: Criolla NN, Ocarina, Mambera, Criolla Colombia y Criolla Galeras con medias entre 5.37 y 6.45, este grupo presentó diferencias estadísticas respecto al grupo de los genotipos con los menores promedios, compuesto por: Punte, Ratona y Tornilla Negra con medias entre 3.4 y 3.95.

Se puede observar que, en los tres ambientes de manera general, los genotipos: Criolla Galeras, Criolla Colombia, Mambera, Criolla NN y Ratona Rosada obtuvieron el mejor comportamiento para esta variable con medias entre 4.75 y 5.40 a diferencia de los cultivares Ratona, Punte y Tornilla Negra que fueron los de menor presencia de tubérculos grandes inferiores a 3.94, así observándose el efecto patogénico de *R. solani* para estos genotipos. No obstante, el cultivar Ocarina no presentó un comportamiento diferencial entre los genotipos de mayor o menor presencia de tubérculos grandes por planta.

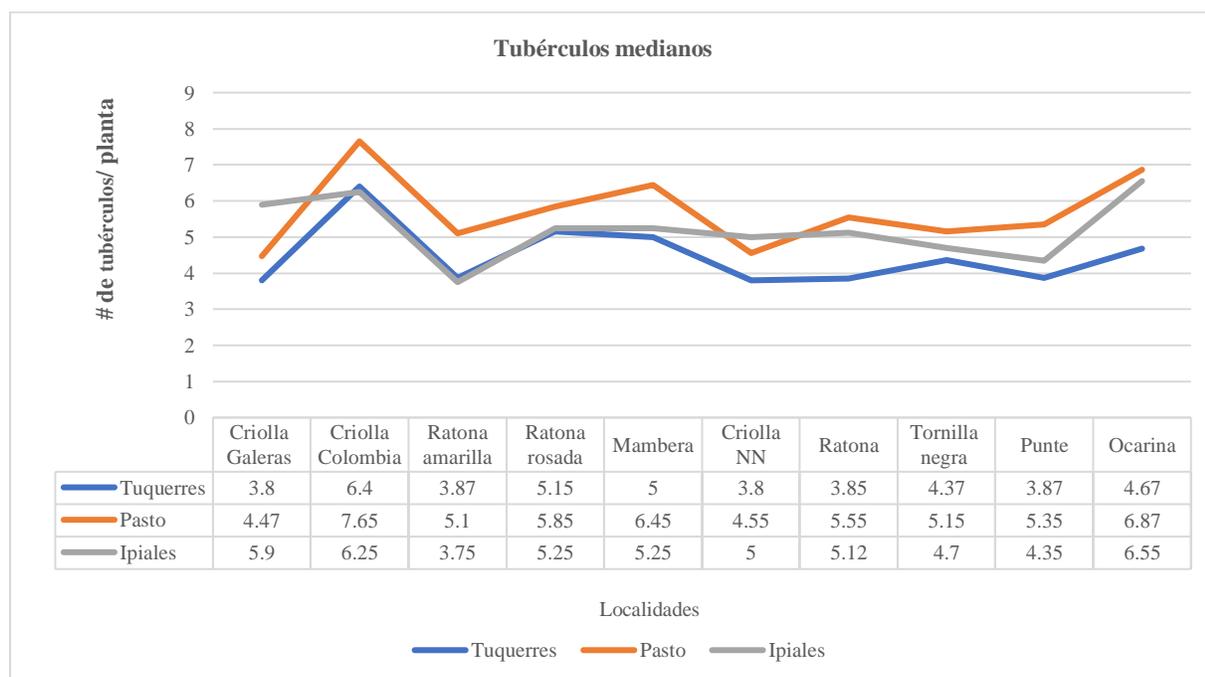
Lo anterior se debe a la influencia del efecto ambiental sobre el crecimiento y producción de las plantas en las zonas productoras de papa (Betancourth *et al.*, 2021a). Según Achicanoy & Mera

(2018), el número de tubérculos por planta es un carácter fisiológico influenciado por la interacción genotipo-ambiente.

Los cultivares Criolla Galeras y Criolla Colombia, en los tres ambientes, obtuvieron el mayor número de tubérculos grandes, esto se debe a que presentaron las menores incidencias del patógeno en emergencia y floración, confirmando los estudios de Atkinson *et al.* (2010), donde manifiestan que las afectaciones de *R. solani* durante la etapa de tuberización, ocasionan cambios en el número, tamaño y forma de los tubérculos que incide principalmente en la producción comercial.

Así mismo el tamaño del tubérculo es influenciado por el manejo agronómico que se emplea en el cultivo (Inostroza, 2009), dado que para la presente evaluación no se realizó aplicaciones de fungicidas selectivos para *R. solani*, donde el patógeno ocasiono variaciones en número y tamaño de tubérculo entre los genotipos. Cabe resaltar que estolones sin afectación del patógeno producirán tubérculos de gran tamaño en comparación con estolones afectados por el patógeno (Yanar *et al.*, 2005).

Por otro lado, en el análisis de varianza (Tabla 15) para número de tubérculos medianos por planta, se observaron diferencias significativas para las localidades, genotipos y la interacción localidad por genotipo (Figura 20).



**Figura 20. Comportamiento de diez genotipos de papa criolla (*S. tuberosum* grupo Phureja) para la producción de tubérculos medianos por planta, en condiciones de infestación natural de *R. solani*.**

Fuente. Este estudio

La tabla 17, mostró que la localidad de Pasto presentó el mejor comportamiento para esta variable con 5.7 tubérculos medianos por planta, con diferencias significativas respecto a las localidades de Ipiales y Túquerres con promedios de 5.21 y 4.48 respectivamente. En la localidad de Túquerres el genotipo Criolla Colombia presentó el mayor número de tubérculos medianos por planta con un promedio de 6.4, difiriendo estadísticamente con el grupo de los genotipos de menor presencia de tubérculos medianos por planta compuesto por los cultivares: Criolla Galeras, Criolla NN, Ratona, Ratona Amarilla, Punte y Tornilla Negra con medias entre 3.8 y 4.37 tubérculos.

Tabla 17. Comparación de promedios de Tukey para la variable número de tubérculos medianos por planta de papa criolla en tres municipios del departamento de Nariño.

| <b>TUBÉRCULOS MEDIANOS</b> |                     |                    |                   |                      |                      |                    |                      |                     |                     |                    |                   |
|----------------------------|---------------------|--------------------|-------------------|----------------------|----------------------|--------------------|----------------------|---------------------|---------------------|--------------------|-------------------|
| Localidades<br>(a)         | Genotipos (b)       |                    |                   |                      |                      |                    |                      |                     |                     |                    | Promedio<br>(a)   |
|                            | Criolla Galeras     | Criolla Colombia   | Ratona amarilla   | Ratona rosada        | Mambera              | Criolla NN         | Ratona               | Tornilla negra      | Punte               | Ocarina            |                   |
| <b>Túquerres</b>           | 3.8 <sup>b</sup>    | 6.4 <sup>a</sup>   | 3.87 <sup>b</sup> | 5.15 <sup>ab</sup>   | 5 <sup>ab</sup>      | 3.8 <sup>b</sup>   | 3.85 <sup>b</sup>    | 4.37 <sup>b</sup>   | 3.87 <sup>b</sup>   | 4.67 <sup>ab</sup> | 4.48 <sup>c</sup> |
| <b>Pasto</b>               | 4.47 <sup>c</sup>   | 7.65 <sup>a</sup>  | 5.1 <sup>bc</sup> | 5.85 <sup>abc</sup>  | 6.45 <sup>ab</sup>   | 4.55 <sup>c</sup>  | 5.55 <sup>bc</sup>   | 5.15 <sup>bc</sup>  | 5.35 <sup>bc</sup>  | 6.87 <sup>ab</sup> | 5.7 <sup>a</sup>  |
| <b>Ipiales</b>             | 5.9 <sup>abc</sup>  | 6.25 <sup>ab</sup> | 3.75 <sup>d</sup> | 5.25 <sup>abcd</sup> | 5.25 <sup>abcd</sup> | 5 <sup>abcd</sup>  | 5.12 <sup>abcd</sup> | 4.7 <sup>bcd</sup>  | 4.35 <sup>cd</sup>  | 6.55 <sup>a</sup>  | 5.21 <sup>b</sup> |
| <b>Promedio (b)</b>        | 4.72 <sup>cde</sup> | 6.76 <sup>a</sup>  | 4.24 <sup>e</sup> | 5.41 <sup>bcd</sup>  | 5.56 <sup>bc</sup>   | 4.45 <sup>de</sup> | 4.84 <sup>cde</sup>  | 4.74 <sup>cde</sup> | 4.52 <sup>cde</sup> | 6.03 <sup>ab</sup> |                   |

Tukey a 0.05= 0.41 Tukey b 0.05= 1.04 Tukey axb= 1.81

Fuente. Este estudio

También para la región de Pasto se evidenció que los genotipos: Mambera, Ocarina y Criolla Colombia obtuvieron el mayor número de tubérculos medianos por planta superior a 6.45, con diferencias significativas en relación a los genotipos Criolla Galeras y Criolla NN que obtuvieron los valores más bajos para esta variable de 4.47 y 4.55 respectivamente.

Para Ipiales se observó que los genotipos Ocarina y Criolla Colombia obtuvieron el mejor comportamiento con 6.25 y 6.55 tubérculos medianos por planta respectivamente, difiriendo estadísticamente con los cultivares Ratona Amarilla y Punte que presentaron los promedios menores inferiores a 4.35 tubérculos medianos por planta.

De manera general, los genotipos Criolla Colombia y Ocarina obtuvieron la mayor presencia de tubérculos medianos por planta con medias superiores a 6.03, difiriendo estadísticamente con los genotipos Ratona Amarilla, Criolla NN, Punte, Criolla Galeras, Tornilla Negra y Ratona que presentaron la menor proporción de tubérculos medianos por planta con medias entre 4.24 y 4.84.

Estos resultados diferenciales de número de tubérculos medianos en las tres regiones concuerdan con los estudios realizados por Marcillo *et al.* (2022), donde al evaluar genotipos de papa *Solanum tuberosum* subsp. Andigena, consiguieron diferencias entre ambientes en cuanto a las respuestas fisiológicas y de rendimiento de los cultivares de estudio. Lo cual indica que estas respuestas se deben a las características de cada entorno.

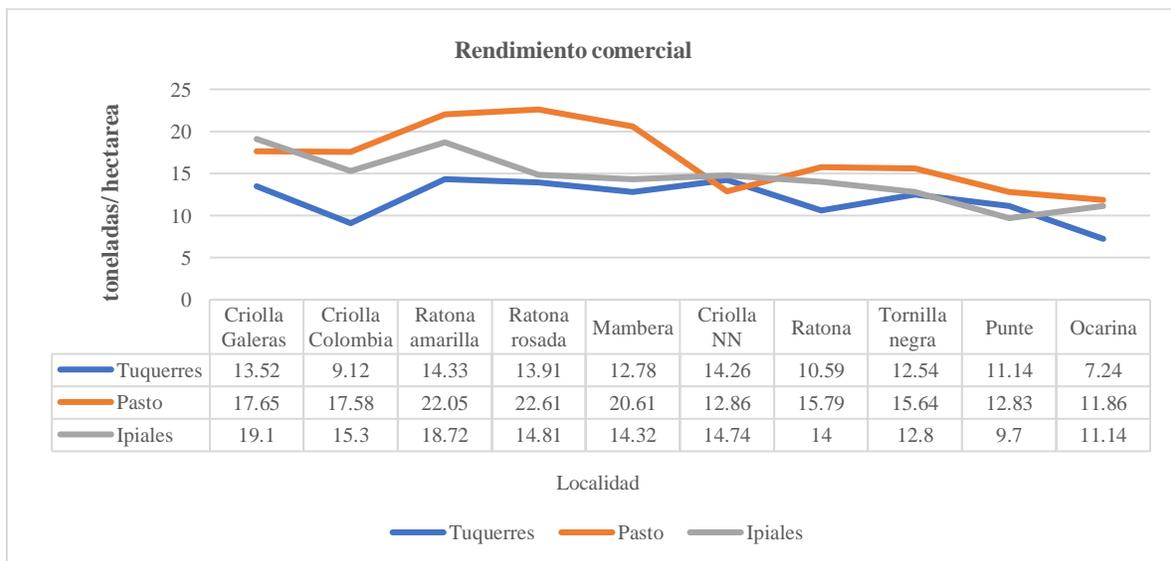
Por otra parte, el genotipo Criolla Colombia obtuvo el mejor comportamiento para esta variable en los tres ambientes, esto se debe al bajo porcentaje de incidencia del fitopatógeno en emergencia y floración en condiciones de infestación natural, que no afectó su rendimiento.

Según Hooker, (1978), el ataque de *R. solani* a estolones y raíces trae como consecuencia la muerte de los ápices que resulta en la producción de tubérculos de menor tamaño. También, el

efecto de necrosis en el estolón estimula la ramificación de este, produciendo tubérculos de menor tamaño sobre los estolones cortos (Calderoni, 1978).

De ahí que los tubérculos de papa antes de la emergencia pueden rebrotar varias veces, lo que confiere una emergencia tardía del cultivo y una reducción en duración de la época efectiva de crecimiento (Parra, 2009). Así también los brotes afectados exhiben un desarrollo pobre y pueden ser incapaces de producir tubérculos normales (Sandoval,1987), por lo que su tamaño comercial puede ser afectado, considerando que los tubérculos medianos aportan al rendimiento comercial en el cultivo de papa.

De acuerdo con el análisis de varianza de la tabla 15, para la variable rendimiento se determinaron diferencias significativas para las localidades, genotipos y para la interacción localidad por genotipo (Figura 21).



**Figura 21. Comportamiento de diez genotipos de papa criolla (*S. tuberosum* grupo Phureja) para el rendimiento comercial (t.ha<sup>-1</sup>), en condiciones de infestación natural de *R. solani*.**

Fuente. Este estudio

En la tabla 18, se comparan los promedios de rendimiento en toneladas por hectárea, observándose, que en la localidad de Pasto se obtuvo el mayor promedio de rendimiento con 16,95 t.ha<sup>-1</sup> difiriendo estadísticamente con las otras dos localidades.

En la interacción, Para la región de Túquerres se observó que los cultivares Mambera, Criolla Galeras, Ratona Rosada, Criolla NN y Ratona Amarilla obtuvieron el mejor comportamiento para esta variable con promedios superiores a 12,78 t.ha<sup>-1</sup>, que difieren estadísticamente con los genotipos Ocarina y Criolla Colombia con los menores rendimientos de 7,24 y 9.12 t.ha<sup>-1</sup>.

Para Pasto se evidenció que Mambera, Ratona Amarilla y Ratona Rosada fueron los de mayor rendimiento comercial, con medias superiores a 20,61 t.ha<sup>-1</sup>, diferentes estadísticamente respecto a los cultivares Ocarina, Punte, Criolla NN, Tornilla Negra y Ratona con medias inferiores a 15,79 t.ha<sup>-1</sup>.

En la localidad de Ipiales, se observó que los cultivares Ratona Amarilla, Criolla Galeras y Criolla Colombia tuvieron el mejor comportamiento con medias entre 15,30 y 19,10 t.ha<sup>-1</sup> que difirieron estadísticamente con los genotipos Punte y Ocarina los que presentaron las menores medias de 9,70 y 11,14 t.ha<sup>-1</sup> respectivamente.

Finalmente, en los tres ambientes se observa que los cultivares Ratona Amarilla, Criolla Galeras y Ratona Rosada presentaron los rendimientos más altos con promedios entre 16.75 y 18.37 t.ha<sup>-1</sup>, difiriendo estadísticamente de los cultivares Punte, Ocarina, Ratona y Tornilla Negra que obtuvieron los menores rendimientos comerciales inferiores a 13.66 ha<sup>-1</sup>.

Tabla 18. Comparación de promedios de Tukey para la variable rendimiento comercial de papa criolla en tres municipios del departamento de Nariño.

| RENDIMIENTO COMERCIAL |                     |                     |                     |                     |                      |                      |                      |                      |                      |                     |                    |
|-----------------------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|---------------------|--------------------|
| Localidades<br>(a)    | Genotipos (b)       |                     |                     |                     |                      |                      |                      |                      |                      |                     | Promedio<br>(a)    |
|                       | Criolla Galeras     | Criolla Colombia    | Ratona amarilla     | Ratona rosada       | Mambera              | Criolla NN           | Ratona               | Tornilla negra       | Punte                | Ocarina             |                    |
| Túquerres             | 13.52 <sup>ab</sup> | 9.12 <sup>cd</sup>  | 14.33 <sup>a</sup>  | 13.91 <sup>ab</sup> | 12.78 <sup>ab</sup>  | 14.26 <sup>a</sup>   | 10.59 <sup>bcd</sup> | 12.54 <sup>abc</sup> | 11.14 <sup>abc</sup> | 7.24 <sup>d</sup>   | 11.96 <sup>c</sup> |
| Pasto                 | 17.65 <sup>bc</sup> | 17.58 <sup>bc</sup> | 22.05 <sup>a</sup>  | 22.61 <sup>a</sup>  | 20.61 <sup>ab</sup>  | 12.86 <sup>de</sup>  | 15.79 <sup>cd</sup>  | 15.64 <sup>cd</sup>  | 12.83 <sup>de</sup>  | 11.86 <sup>e</sup>  | 16.95 <sup>a</sup> |
| Ipiales               | 19.10 <sup>a</sup>  | 15.30 <sup>bc</sup> | 18.72 <sup>ab</sup> | 14.81 <sup>c</sup>  | 14.32 <sup>cd</sup>  | 14.74 <sup>c</sup>   | 14 <sup>cd</sup>     | 12.80 <sup>cde</sup> | 9.70 <sup>e</sup>    | 11.14 <sup>de</sup> | 14.46 <sup>b</sup> |
| <b>Promedio (b)</b>   | 16.75 <sup>ab</sup> | 14 <sup>cde</sup>   | 18.37 <sup>a</sup>  | 17.11 <sup>ab</sup> | 15.90 <sup>bcd</sup> | 13.95 <sup>cde</sup> | 13.46 <sup>e</sup>   | 13.66 <sup>e</sup>   | 11.22 <sup>f</sup>   | 10.08 <sup>f</sup>  |                    |

Tukey a 0.05= 0.80 Tukey b 0.05=2.05 Tukey axb=3.56

Fuente. Este estudio

Estos altos rendimientos generales de los cultivares fueron superiores al promedio nacional de papa criolla para Colombia de 14,7 t.ha<sup>-1</sup> (Agronet, 2017). Lo anterior puede estar influenciado por las interacciones entre factores ambientales, genéticos, bioquímicos y fisiológicos (Zierer *et al.*, 2021).

Por otra parte, Núñez *et al.* (2022), al evaluar genotipos de papa criolla en diferentes ambientes obtuvieron rendimientos promedios entre 17,9 y 31,3 t.ha<sup>-1</sup>, resultados superiores a los encontrados en la presente investigación, esto se debe a los daños causados por el patógeno en tallos, estolones y raíces que afecta la cantidad de tubérculos producidos (Kankam *et al.*, 2021) reduciendo drásticamente el rendimiento del cultivo en condiciones de infestación natural de *R. solani*.

Además, Velásquez *et al.* (2017), afirman que, en ambientes óptimos, en el cultivo de papa, cada tallo forma raíces, estolones y tubérculos y se comporta como una planta individual que se conoce como un tallo principal; por eso, el número de tallos y estolones son un factor agronómico determinante en la producción.

En el grupo de cultivares de mejor comportamiento se encuentran los genotipos Ratona Amarilla y Ratona Rosada con 18,37 y 17,11 t.ha<sup>-1</sup> respectivamente, que se pueden considerar como cultivares nativos o silvestres que poseen alta variabilidad de caracteres, entre estos tolerancia y resistencia a estrés biótico y abiótico que ha permitido mejorar las variedades en varios campos de acción como el agronómico (Soto *et al.*, 2013), que les permite producir buenos rendimientos en presencia de patógenos del suelo.

Por otro lado, aunque Criolla Galeras obtuvo un buen rendimiento promedio de 16,75 t.ha<sup>-1</sup>, este valor fue inferior al rendimiento potencial del cultivar en condiciones óptimas que es de 30 t.ha<sup>-1</sup> (Grupo de investigación en papa, 2007), esta disminución en rendimiento se debe a efecto de *R. solani*.

En lo referente al cultivar Mambera, el rendimiento general alcanzado en el estudio fue de 15.90 t.ha<sup>-1</sup> y se encuentra dentro de los rendimientos reportados a nivel comercial que oscilan entre 15 y 20 t.ha<sup>-1</sup> (Herrera *et al.*, 2000).

En cuanto a los cultivares Ocarina, Punte, Ratona y Tornilla Negra que obtuvieron los menores rendimientos comerciales entre 10,08 y 13,66 t.ha<sup>-1</sup>, en condiciones de infestación natural de *R. solani*, evidenciaron rendimientos similares a los reportados por Seminario *et al.* (2021), donde al estudiar 15 cultivares de papa criolla en diferentes ambientes encontraron promedios entre 5 y 11 t.ha<sup>-1</sup>. Lo anterior se debe a que la resistencia de la papa al fitopatógeno *R. solani* se hereda poligénicamente (Dowley, 1972), sin embargo, el fenotipo puede verse significativamente afectado por condiciones ambientales y presión de patógenos (Adams & Hide, 1980).

La localidad de Túquerres presentó el menor rendimiento comercial con 11.96 t.ha<sup>-1</sup>, esto se debe las condiciones fisicoquímicas del suelo, puesto que el suelo de esta región se caracteriza por tener una textura franco arcillosa y con un perfil de suelo poco efectivo (Betancourth *et al.*, 2021a).

Además, esta zona posee una temperatura promedio de 11.74 °C, una precipitación anual de 1321 mm/año y una humedad relativa de 84% (IDEAM, 2022) y según Rollhaiser (2019), el hongo *R. solani* se desarrolla en humedades relativas mayores al 80%. Igualmente, Kiptoo *et al.* (2021), afirman que factores como bajas temperaturas, suelos húmedos, clima fresco y alta humedad son responsables de la aparición de esta enfermedad.

También las localidades de Pasto e Ipiales presentaron un mayor rendimiento en comparación con la localidad de Túquerres, según Tsrer & Perez, (2005), una menor proporción del inóculo del suelo y las condiciones físicas del suelo favorecen un mejor desarrollo subterráneo de las plantas.

Desde otro punto de vista, las localidades de Pasto e Ipiales tuvieron una precipitación anual de 1197 y 1138 mm/año respectivamente, estas menores presencias de lluvias en comparación con la localidad de Túquerres (1321 mm/año), disminuyeron la propagación del inóculo del suelo.

La localidad de Pasto obtuvo el mayor rendimiento comercial de 16.95 t.ha<sup>-1</sup> en comparación a las otras dos localidades de estudio, esto se debe a la distribución inicial del inóculo en el suelo que influyó en la respuesta del cultivo frente a la enfermedad (Betancourth *et al.*, 2021a), 2005).

Estos resultados pueden estar explicados por los factores abióticos y las propiedades fisicoquímicas del suelo, que contribuyen a la supresión de patógenos (Siddiqui *et al.*, 2015; Stirling *et al.*, 2012). Esta inhibición está mediada en gran medida por los microorganismos del suelo (Wright *et al.*, 2022).

Así, el microbioma de la rizosfera, consiste en todo el complejo de microbios asociados a esta, de vital importancia para la salud de las plantas (Berendsen *et al.*, 2012) y según Cook *et al.* (1995), es la primera línea de defensa de las raíces de las plantas contra el ataque de patógenos transmitidos por el suelo.

Lo anterior sugiere que, aunque el microbioma del suelo en su conjunto es el principal responsable de la supresión de enfermedades del suelo, ciertos géneros o especies bacterianas pueden desempeñar un papel en la supresión del hongo *R. solani* (Wright *et al.*, 2022).

De ahí que los microbios inhibidores de enfermedades protegen a las plantas del ataque de patógenos mediante la producción de antibióticos y sideróforos, parasitismo, competencia de nutrientes, exclusión de nichos e inducción de resistencia sistémica del huésped (Mihajlović *et al.*, 2017).

Entre los antagonistas fúngicos reportados para reducir la enfermedad de rizoctoniasis de la papa en campo incluyen *Trichoderma harzianum*, *T. viride*, *T. hamatum*, *T. atrovirida*, *T. virens*, *Verticillium biguttatum*, *Rhizoctonia zea* y *Corticium* sp. (Tsrer, 2010; Das, 2013). Lo anterior predispone la persistencia de *R. solani* y mejora los rendimientos del cultivo de papa, dado que los daños multisintomáticos causados por el hongo y su alta patogenicidad convierte a *R. solani* en un patógeno de gran importancia económica.

### Conclusiones

- Nueve genotipos promisorios fueron seleccionados de la colección de trabajo de genotipos de papa criolla grupo Phureja, por presentar el mejor comportamiento frente al hongo *R. solani*, denominados como Criolla NN, Mambera, Ratona Amarilla, Ratona Rosada, Criolla Galeras, Criolla Colombia, Tornilla Negra, Punte y Ratona que constituyen en unas alternativas para mejorar la competitividad del cultivo de papa.
- Se presentaron mayores porcentajes de incidencia de *R. solani* en etapa de floración que en etapa de emergencia y cosecha para los genotipos promisorios de papa del grupo Phureja.
- En la evaluación de los genotipos de *Solanum tuberosum* grupo *Phureja* por su reacción a la presencia de la enfermedad rizoctoniasis en las tres localidades, se destacaron los genotipos Criolla Galeras, Criolla Colombia, Ratona Amarilla, Ratona Rosada y Ocarina. Estos genotipos presentaron la menor susceptibilidad de *R. solani* durante todo el ciclo del cultivo, convirtiéndolos en una alternativa para el mejoramiento genético del cultivo con posible tolerancia a la enfermedad.
- Los mayores rendimientos comerciales en condiciones de infestación natural de *R. solani* en los tres ambientes, lo obtuvieron los genotipos: Mambera, Criolla Galeras, Ratona Rosada y Ratona Amarilla con medias mayores a 15.90 t.ha<sup>-1</sup>, y pueden considerarse como opciones productivas del cultivo en el departamento de Nariño.

### Recomendaciones

- Se recomienda realizar pruebas experimentales de los genotipos sobresalientes en condiciones de invernadero, para determinar la incidencia y severidad del patógeno en diferentes estados de desarrollo de la planta.
- Con los resultados obtenidos se puede realizar pruebas en condiciones controladas para la evaluación de síntomas de *R. solani* durante el ciclo del cultivo, a través de un muestreo destructivo, esto nos permitirá mayor precisión en los resultados que determinan la presencia de poblaciones patógenas en condiciones de campo.
- Una vez determinada la reacción de *R. solani* en laboratorio, se podría evaluar en campo los genotipos más sobresalientes a través de pruebas de estabilidad y adaptabilidad, seleccionando los genotipos menos susceptibles al patógeno y de buen rendimiento para darlos a conocer a los productores la región.

### Referencias bibliográficas

- Abdoulaye, A., Foda, M., & Kotta, I. (2019). Viruses infecting the plant pathogenic fungus *Rhizoctonia solani*. *Viruses*, *11*(12), 1113. <https://doi.org/10.3390/v11121113>
- Achicanoy, V., & Mera, G. (2018). *Efecto de siete bioestimulantes sobre la “gota” (Phytophthora infestans (Mont.) de Bary) y la productividad en papa criolla amarilla (Solanum tuberosum Grupo Phureja)* [Universidad de Nariño]. <http://sired.udenar.edu.co/5471/>
- Acuña, I., & Araya, M. (2017). *Pudriciones blandas y pie negro*. (Ficha técnica n.º 51). Santiago, Chile: Instituto de Investigaciones Agropecuarias (INIA).
- Acuña, I., Muñoz, M., Sandaña, P., Orena, S., Bravo, R., Kalazich, J., Tejeda, P., Castro M., & C. Sandoval. (2015). *Manual Interactivo de la papa INIA*. Instituto de Investigaciones Agropecuarias (INIA) Chile. Recuperado de: <http://manualinia.papachile.cl>
- Acuña, I., & Vargas, O. (2004). *Rizoctoniasis de la papa*. (Ficha técnica n.º 52). Santiago, Chile: Instituto de Investigaciones Agropecuarias (INIA).
- Adams, M., & Hide, G. (1980). Relationships between disease levels on seed tubers, on crops during growth and in stored potatoes 5 Seed stocks grown at Rothamsted. *Potato Research*, *23*, 291–302.
- Agrios, G. (2007). *Fitopatología*. México: Limusa.
- Agrios, G. (2005). *Fitopatología*. México: Limusa.
- Agronet (2017). Reporte: Área, Producción y Rendimiento Nacional por Cultivo. Estadísticas 2017. <https://www.agronet.gov.co/estadistica/Paginas/home.aspx?cod=1>
- Andrade, H. & Revelo, J. (1994). Breve diagnóstico de la problemática del cultivo de papa, con énfasis en la resistencia a enfermedades. *INIAP*, 79-83.
- Araujo, M., Cartagena, Y., Castillo, C., Cuesta, H., Monteros, J., Caicedo, P., Rivadeneira, J., Velásquez, J., Racines, M., Leon, J., Panchi, N., & Andrade, J. (2021). Manual del cultivo de papa para pequeños productores. Recuperado de: <http://repositorio.iniap.gob.ec/handle/41000/5672>

- Arici, S., & Sanli, A. (2014). Effect of some essential oils against *Rhizoctonia solani* and *Streptomyces scabies* on potato plants in field conditions. *Annual Research & Review in Biology*, 2027-2036. <https://doi.org/10.9734/ARRB/2014/8526>
- Arcos, J., & Zúñiga, D. (2015). Efecto de rizobacterias en el control de *Rhizoctonia solani* en el cultivo de papa. *Ecología aplicada*, 14, 95- 101.
- Atkinson, D., Thornton, M., & Miller, J. (2010). Development of *Rhizoctonia solani* on stems, stolons and tubers of potatoes I. Effect of inoculum source. *American Journal of Potato Research*, 87(4), 374-381. <https://doi.org/10.1007/s12230-010-9143-6>
- Bains, P., Bennypaul, H., Lynch, D., Kawchuk, L., & Schaupmeyer, C. (2002). Rhizoctonia disease of potatoes (*Rhizoctonia solani*): Fungicidal efficacy and cultivar susceptibility. *American Journal of Potato Research*, 79(2), 99-106.
- Becerra, L.; Mosquera, N., & Nústez, C. (2007). Efecto de niveles de fósforo y potasio sobre el rendimiento del cultivar ‘Criolla Guaneña’ en el departamento de Nariño. *Revista Latinoamericana de la Papa*, 14(1), 51-60.
- Beltrán, C., & Cotes, A. (2011). Biología y manejo de *Rhizoctonia solani*. En Beltrán, C., Moreno, C. & Cotes, A. *Trichoderma koningiopsis Th003, alternativa biológica para el control de Rhizoctonia solani en el cultivo de papa* (pp. 4-15). Bogotá, Colombia: Produmedios.
- Berendsen, R., Pieterse, C., & Bakker, P. (2012). The rhizosphere microbiome and plant health. *Trends in plant science*, 17(8), 478-486. <https://doi.org/10.1016/j.tplants.2012.04.001>
- Betancourth, C., Sañudo, B., Flórez, C. & Salazar, C. (2022). Eficacia de biofungicidas para el manejo de la costra negra (*Rhizoctonia solani* Kühn) de la papa en Nariño, Colombia. *Información tecnológica*, 33(1), 279-288. <http://dx.doi.org/10.4067/S0718-07642022000100279>

- Betancourth, C., Sañudo, B., Flórez, C., & Salazar, C. (2021a). Manejo de la costra negra de la papa (*Rhizoctonia solani*) con el establecimiento de abonos verdes. *Información tecnológica*, 32(2), 165-174. <http://dx.doi.org/10.4067/S0718-07642022000100279>
- Betancourth, C., Castro, B., Quiroz, C., Sañudo, B., Florez, C., & Salazar, C. (2021b). Morphology and pathogenicity of *Rhizoctonia solani* Kühn associated with potato black scurf in Nariño (Colombia). *Revista Colombiana de Ciencias Hortícolas*, 15(1), e11821-e11821. <https://doi.org/10.17584/rcch.2021v15i1.11821>
- Betancourth, C., Sañudo, B., Florez, C., Castro, B., Arteaga, F., Lagos, L., & Salazar, C. (2020). *Vulneración del cultivo de la papa ante problemas sanitarios emergentes en Nariño*. 1 ed. San Juan de Pasto: Editorial Universidad de Nariño.
- Bidondo, L., Almasia, N., Bazzini, A., Colombo, R., Hopp, E., Vazquez, C., & Godeas, A. (2019). The overexpression of antifungal genes enhances resistance to *Rhizoctonia solani* in transgenic potato plants without affecting arbuscular mycorrhizal symbiosis. *Crop Protection*, 124, 104837. <https://doi.org/10.1016/j.cropro.2019.05.031>
- Borel, B. (2017). When the pesticides run out. *Nature*, 543, 302-304.
- Brancourt, M., & Lecomte, C. (2003). Effect of environmental variates on genotype environment interaction of winter wheat: a comparison of biadditive factorial regression to AMMI. *Crop Science*, 43(2), 608-617. <https://doi.org/10.2135/cropsci2003.6080>
- Brierley, J., Hilton, A., Wale, S., Woodhall, J., & Lees, A. (2016). The relative importance of seed-and soil-borne Inoculum of *Rhizoctonia solani* AG-3 in causing black scurf on potato. *Potato Research*, 59(2), 181-193. <https://doi.org/10.1007/s11540-016-9320-1>
- Calderoni, A. (1978). *Enfermedades de la papa y su control*. Buenos Aires: hemisferio sur.
- anastomosis group-2 (AG-2) and AG-BI. *Phytopathology*. 92(1), 43-50. <https://doi.org/10.1094/PHYTO.2002.92.1.43>

- Carling, D. (1996). Grouping in *Rhizoctonia solani* by hyphal anastomosis reaction. En: Sneh, B., Jabaji, S., Neate, S., & Dijst, G. eds. *Rhizoctonia species. Taxonomy, Molecular Biology, Ecology, Pathology and Disease Control*, (pp 37-47). Springer Science & Business Media. [https://doi.org/10.1007/978-94-017-2901-7\\_3](https://doi.org/10.1007/978-94-017-2901-7_3)
- Carreño, N., Vargas, A., Bernal, J. & Restrepo, S. (2007). Problemas fitopatológicos en especies de la familia Solanaceae causados por los géneros *Phytophthora*, *Alternaria* y *Ralstonia* en Colombia. *Agronomía Colombiana*. 25(2), 320-329.
- Carrión, N., Flores, F., Rivadeneira, J., & Tello, C. (2017). Evaluación de resistencia de genotipos de papa a Costra Negra (*Rhizoctonia solani* Kühn) bajo condiciones controladas. En Kromann, P., Cuesta, X., Montero, B., Cuasapaz, P., León, A. & Chulde, A. (Eds.), *VII Congreso Ecuatoriano de la Papa: Memorias* (pp. 177-178). Tulcán, Ecuador: CIP/INIAP.
- Castellanos, M. (2022). *Caracteres biométricos y comportamiento de 180 clones de papa (Solanum Spp) resistentes a heladas y sequías en condiciones de campo del agricultor-Santo Tomás-Chumbivilcas-Cusco* [Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco]. <http://hdl.handle.net/20.500.12918/6829>
- Castro, I., & Contreras, A. (2011). *Manejo de plagas y enfermedades en el cultivo de la papa*. Valdivia: Imprenta Austral.
- Chavarro, E., Herrera, N., Beltrán, C., Cotes., & Ángel, J. (2021). Genetic diversity of *Rhizoctonia solani* AG-3PT, the etiological cause of stem canker and black scurf in Colombian potatoes. *Ciencia y tecnología agropecuaria*. 22(3), e1888. [https://doi.org/10.21930/rcta.vol22\\_num3\\_art:1888](https://doi.org/10.21930/rcta.vol22_num3_art:1888)
- Chavarro, E. (2011). *Variabilidad genética y detección molecular de poblaciones del hongo Rhizoctonia solani en regiones colombianas productoras de papa* [Universidad Nacional de Colombia]. <https://repositorio.unal.edu.co/handle/unal/11279>
- Cohen, L., & Holliday, M. (1996). *Estadística práctica para estudiantes*. 1 ed. Londres: Gráficos Globe.

- Collinge, D., Jorgensen, H., Latz, M., Manzotti, A., Ntana, F., Rojas, E., & Jensen, B. (2019). Searching for novel fungal biological control agents for plant disease control among endophytes. En: Hodkinson, T., Doohan, F., Saunders, M., & Murphy, B. *Endophytes for a Growing World* (Pp 25-51). Cambridge, Inglaterra: Universidad de Cambridge press.
- Cook, R., Thomashow, L., Weller, D., Fujimoto, D., Mazzola, M., Banger, G., & Kim, D. (1995). Molecular mechanisms of defense by rhizobacteria against root disease. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 92(10), 4197-4201. <https://doi.org/10.1073/pnas.92.10.4197>
- Coutiño, E., & Vidal, V. (2003). Grain yield stability of corn hybrids using best linear unbiased predictors. *Agrociencia*, 37, 605-616.
- Das, S., Shah F., Butler, R., Falloon, R., Stewart, A., Raikar, S., Pitman, R. (2014). Genetic variability and pathogenicity of *Rhizoctonia solani* associated with black scurf of potato in New Zealand. *Plant Pathology*, 63, 651-666. <https://doi.org/10.1111/ppa.12139>
- Das, S. (2013). *Rhizoctonia solani* on potato in New Zealand: Pathogen characterisation and identification of doublestranded RNA viruses that may affect their virulence [Universidad de Lincoln]. <https://researcharchive.lincoln.ac.nz/handle/10182/5708>
- Desender, S., Andrivon, D., & Val, F. (2007). Activation of defence reactions in Solanaceae: Where is the specificity?. *Cellular Microbiology*, 9(1), 21-30. <https://doi.org/10.1111/j.1462-5822.2006.00831.x>
- Djéballi, N., & Belhassen, T. (2010). Field study of the relative susceptibility of eleven potato (*Solanum tuberosum* L.) varieties and the efficacy of two fungicides against *Rhizoctonia solani* attack. *Crop Protection*, 29(9), 998-1002. <https://doi.org/10.1016/j.cropro.2010.06.012>
- Dowley, L. (1972). Varietal susceptibility of potato tubers to *Rhizoctonia solani* in Ireland. *Irish Journal of Agricultural Research*, 281-285.

- Dubey, S., Tripathi, A., Upadhyay, B., & Deka, U. (2014). Diversity of *Rhizoctonia solani* associated with pulse crops in different agro-ecological regions of India. *World Journal of Microbiology and Biotechnology*, 30(6), 1699-1715. <https://doi.org/10.1007/s11274-013-1590-z>
- Estrada, N. (2000). *La biodiversidad en el mejoramiento genético de la papa*. La paz, Bolivia: PROINPA, CID, CIP.
- Federación Colombiana de productores de papa. (FEDEPAPA) (2021a). *Boletín mensual regional No. 05*. Departamento de Sistemas de Información y Estudios Económicos Federación Colombiana de Productores de Papa - Fondo Nacional de Fomento de la Papa 2021; 1:24. <https://fedepapa.com/wp-content/uploads/2021/11/Boletin-regional-Narino-2021.pdf>
- Federación Colombiana de Productores de papa (FEDEPAPA). (2021b). Informe de gestión vigencia 2021. Federación Colombiana de Productores de Papa - Fondo Nacional de Fomento de la Papa <https://fedepapa.com/wp-content/uploads/2022/02/INFORME-DE-GESTION-SEMESTRE-A-2021.pdf>
- Federación Colombiana de Productores de Papa. (FEDEPAPA). (2020). Nuestros héroes del campo no paran frente al COVID-19. *Revista de la papa*, 50, 1-48.
- Federación Colombiana de Productores de papa. (FEDEPAPA). (2019). Mercado internacional: el buen clima es clave para la producción de papa en China (Boletín Econopapa. 4(88), 2). <https://fedepapa.com/wp-content/uploads/2021/09/BOLETIN-ECONOMICO-N%C2%B088.pdf>
- Ferrucho, R., Cifuentes, J., Ceresini, P., & García, C. (2012). *Rhizoctonia solani* AG-3PT is the major pathogen associated with potato stem canker and black scurf in Colombia. *Agronomía Colombiana*, 30(2), 204-213.
- Fiers, M., Edel, V., Héraud, C., Gautheron, N., Chatot, C., Le Hingrat, Yves- Le, H., Bouček, B., & Steinberg, C. (2011). Genetic diversity of *Rhizoctonia solani* associated with potato tubers in France. *Mycologia*, 103(6), 1230-1244. <https://doi.org/10.3852/10-231>

- Forbes, G., Pérez, W., & Andrade, J. (2014). *Evaluación de la resistencia en genotipos de papa a Phytophthora infestans bajo condiciones de campo: Guía para colaboradores internacionales*. Lima, Perú: International Potato Center.
- Galindo, J., & Clavijo, P. (2009). Fenología del cultivo de arveja (*Pisum sativum* L. var. Santa Isabel) en la sabana de Bogotá en campo abierto y bajo cubierta plástica. *Revista Corpoica – Ciencia y Tecnología Agropecuaria*, 10(1), 5- 15.
- Genzel, F., Franken, P., Witzel, K. & Grosch, R. (2018). Systemic induction of salicylic acid-related plant defences in potato in response to *Rhizoctonia solani* AG 3 PT. *Plant pathology*, 67(2): 337-348. <https://doi.org/10.1111/ppa.12746>
- Gondal, A., Rauf, A., & Naz, F. (2019). Anastomosis Groups of *Rhizoctonia solani* associated with tomato foot rot in Pothohar Region of Pakistan. *Scientific reports*, 9(1), 1-12. <https://doi.org/10.1038/s41598-019-40043-5>
- Grupo de investigación en papa. (2007). *Criolla Galeras*. <https://www.papaunc.com/catalogo/criolla-galeras>
- Grupo de investigación en papa. (2005). *Criolla Colombia*. <https://www.papaunc.com/catalogo/criolla-colombia>
- Gualoto, A. (2019). *Evaluación de resistencia de genotipos de papa (Solanum tuberosum L.) a rhizoctoniasis (Rhizoctonia sp.) y pie negro (Pectobacterium spp.)* [Universidad Central del Ecuador]. <http://www.dspace.uce.edu.ec/handle/25000/19847>
- Hawkes, J. (1990). *The potato: evolution, biodiversity and genetic resources*. Washington DC: Belhaven Press.
- Helder, H., Miersch, O., Vreugdenhil, D., & Sembdner, G. (1993). Occurrence of hydroxylated jasmonic acid in leaflets of *Solanum demissum* plants grown under long and short-day conditions. *Plant Physiology*, 88(4), 647-653. <https://doi.org/10.1111/j.1399-3054.1993.tb01384.x>

- Henfling, J. (1980). *El tizón tardío de la papa (Phytophthora infestans)*. 2 ed. Lima, Perú: Centro internacional de la papa.
- Herrera, N. (2019). Evaluación de resistencia a *Phytophthora infestans* Mont de Bary de cinco variedades de papa en Cajamarca y Junín. [Universidad Nacional de Cajamarca]. <http://hdl.handle.net/20.500.14074/3475>
- Herrera, C., Guzman, F., Humberto, L., Mendoza, M., & Dílmes, J. (2000). *Manejo integrado del cultivo de la papa: manual técnico*. Bogotá: Produmedios.
- Hide, G., Read, P., & Sandison, J. (1985). Stem canker (*Rhizoctonia solani*) of maincrop potatoes. I. Development of the disease. *Annals of Applied Biology*, 106(3), 413-422. <https://doi.org/10.1111/j.1744-7348.1985.tb03132.x>
- Hooker, W. (1978). The *Rhizoctonia* disease of potatoes: description and introductory observations in Michigan. *American Potato Journal*, 55, 55-6.
- Hu, W., Pan, X., Li, F., & Dong, W. (2018). UPLC-QTOF-MS metabolomics analysis revealed the contributions of metabolites to the pathogenesis of *Rhizoctonia solani* strain AG-1-IA. *PLoS One*, 13(2): e0192486. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0192486>
- Huamán, Z. & Spooner, D. (2002). Reclassification of landrace populations of cultivated potatoes (*Solanum* sect. Petota). *American Journal of Botanic*, 89, 947-965. <https://doi.org/10.3732/ajb.89.6.947>
- Huamán, Z. (1986). *Botánica sistemática y morfología de la papa* [Boletín de Información Técnica n.º 6]. Lima, Perú: Centro Internacional de la Papa (CIP).
- Inostroza, J. (2009). *Manual de Papas en La Araucanía: Manejo y Plantación*. Chile: Instituto de Investigaciones Agropecuarias.
- Instituto colombiano agropecuario (ICA) (2015). Resolución 3168 de 2015. Por medio del a cuál se reglamenta y controla la producción e importación y exportación de semillas producto del

mejoramiento para la comercialización y siembra en el país, así como el registro de las unidades de evaluación agronómica y/o unidades de investigación en fitomejoramiento y se dictan otras disposiciones.

<https://www.ica.gov.co/getattachment/4e8c3698-8fcb-4e42-80e7-a6c7acde9bf8/2015R3168.aspx#:~:text=OBJETO.,unidades%20de%20investigaci%C3%B3n%20en%20fitomejoramiento.>

Instituto Colombiano Agropecuario (ICA). (2011). *Manejo fitosanitario del cultivo de papa (Solanum tuberosum subsp. Andigena y S. phureja) Medidas para la temporada invernal*. Bogotá: Produmedios.

Instituto Colombiano Agustín Codazzi (IGAC) (2004). Estudio general de suelos y zonificación en el departamento de Nariño.

[https://www.researchgate.net/publication/330425798\\_CAPACIDAD\\_DE\\_USO\\_DE\\_LAS\\_TIERRAS\\_EXTRACTADO\\_DEL\\_ESTUDIO\\_GENERAL\\_DE\\_SUELOS\\_Y\\_ZONIFICACION\\_DE\\_TIERRAS\\_DEPARTAMENTO\\_DE\\_NARINO\\_IGAC\\_2004?channel=doi&linkId=5c3f957ea6fdccd6b5b2bd48&showFulltext=true](https://www.researchgate.net/publication/330425798_CAPACIDAD_DE_USO_DE_LAS_TIERRAS_EXTRACTADO_DEL_ESTUDIO_GENERAL_DE_SUELOS_Y_ZONIFICACION_DE_TIERRAS_DEPARTAMENTO_DE_NARINO_IGAC_2004?channel=doi&linkId=5c3f957ea6fdccd6b5b2bd48&showFulltext=true)

Inokuti, E., Reis, A., Ceresini, P., Câmara, M., & Michereff, S. (2019). Diversity and pathogenicity of anastomosis groups of *Rhizoctonia* associated with potato stem canker and black scurf diseases in Brazil. *European Journal of Plant Pathology*, 153(4), 1333–1339.

<https://dx.doi.org/10.1007/s10658-018-01627-5>

Instituto de Investigación y Desarrollo de Comercio Exterior de la Cámara de Comercio de Lima (IDEXCAM). (2018). Papa, milenario producto andino.

<http://50.18.8.108/bitstream/handle/20.500.14140/901/TESIS%20LAUREANO%20-%20PE%c3%91A.pdf?sequence=4&isAllowed=y>

Instituto de hidrología meteorología y estudios ambientales (IDEAM). (2022). Consulta y descarga de datos hidrometeorológicos. <http://dhime.ideam.gov.co/atencionciudadano/>

- Johnson, S., & Leach, S. (2020). Potato Facts: Rhizoctonia Diseases on Potatoes. *Universidad de Maine*, 2273, 2-7. <https://extension.umaine.edu/publications/wp-content/uploads/sites/52/2020/06/2273-reviewed-2020.pdf>
- Kankam, F., Larbi, S., & Adomako, J. (2021). Rhizoctonia disease of potato: Epidemiology, toxin types and management. *Egyptian Journal of Phytopathology*, 49(1), 197-209. <https://doi.org/10.21608/EJP.2021.72057.1028>
- Katan, J. (2010). Cultural approaches for disease management: present status and future prospects. *Journal of plant pathology*, S7-S9.
- Kawasaki, K., & Lichtenberg, E. (2015). Quality versus Quantity Effects of Pesticides: Joint Estimation of Quality Grade and Crop Yield. *Agricultural and Applied Economics*. <https://doi.org/10.22004/ag.econ.204848>
- Khandaker, M., Khair, A., & Bhuiyan, M. (2011). Disease reaction of potato germplasm and true potato seeds against *Rhizoctonia solani* Kühn. *Revista de Botánica de Bangladesh*, 40 (2), 193–196. <https://doi.org/10.3329/bjb.v40i2.9777>
- Kim, K., Kabir, E., & Jahan, S. (2017). Exposure to pesticides and the associated human health effects. *Science of the Total Environment*, 575, 525-535. <http://dx.doi.org/10.1016/j.scitotenv.2016.09.009>
- Kiptoo, J., Abbas, A., Bhatti, A., Usman, H., Shad, M., Umer, M., & Iqbal, S. (2021). *Rhizoctonia solani* of Potato and Its Management: A review. *Plant Protection*, 5(3), 157-169. <https://doi.org/10.33804/pp.005.03.3925>
- Kumar, M., Singh, J., Kumar, S., & Kumar, A. (2017). A comprehensive overview on black scurf of potato. *International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences*, 6(10), 4981-4994. <https://doi.org/10.20546/ijcmas.2017.610.472>

- Lagos, T., Mejía, D., Martínez, C., Andrade, D., Latorre, L., Trejo, D., & Valencia, L. (2021). *Avances en el mejoramiento genético de la papa (Solanum tuberosum L.) para el sur de Colombia*. San Juan de Pasto, Nariño: Editorial Universidad de Nariño.
- Latorre, C., & Villamizar, C. (2019). Evaluación del efecto de la fertilización en el rendimiento de cuatro clones promisorios de papa criolla (*Solanum phureja* Juz. et. Buk) en Mutiscua, Norte de Santander. *Ciencia y Tecnología Agropecuaria*, 4(1):3-9.
- Larkin, R., & Brewer, M. (2020). Effects of crop rotation and biocontrol amendments on Rhizoctonia disease of potato and soil microbial communities. *Agriculture*, 10(4), 128. <https://doi.org/10.3390/agriculture10040128>
- Lekota, M., Muzhinji, N., & Van der Waals, J. (2019). Identification of differentially expressed genes in tolerant and susceptible potato cultivars in response to *Spongospora subterranea* f. sp. subterranea tuber infection. *Plant Pathology*, 68(6), 1196-1206. <https://doi.org/10.1111/ppa.13029>
- Li, H., Wang, J., Liu, Q., Zhou, Z., Chen, F. y Xiang, D. (2018). Effects of consecutive monoculture of sweet potato on soil bacterial community as determined by pyrosequencing. *Journal of basic microbiology*. 59(2), 181-191. <https://doi.org/10.1002/jobm.201800304>
- Liu, J., Zhang, X., Kennedy, J., Jiang, M., Cai, Q., & Wu, X. (2019). Chitosan induces resistance to tuber rot in stored potato caused by *Alternaria tenuissima*. *International Journal of Biological Macromolecules*, 140, 851–857. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2019.08.227>
- Lopes, C., Carvalho, A., Pereira, A., Azevedo, F., Castro, C., Emygdio, B., & Silva, G. (2021). Performance of *Solanum phureja*-derived bacterial-wilt resistant potato clones in a field naturally infested with *Ralstonia solanacearum* in Central Brazil. *Horticultura Brasileira*, 39, 411-416. <https://doi.org/10.1590/s0102-0536-20210410>
- Magari, R., & Kang, M. (1997). SAS-STABLE: Stability Analyses of Balanced and Unbalanced Data. *Agronomy journal*, 89(6), 929-932. <https://doi.org/10.2134/agronj1997.00021962008900060013x>

- Marcillo, C., Benavides, C., Gómez, L., & Romero, J. (2022). Physiological and yield response to fertilization of short-cycle *Solanum tuberosum* cultivars in three high-Andean environments. *Revista Facultad Nacional de Agronomía Medellín*, 75(3), 10009-10021. <https://doi.org/10.15446/rfnam.v75n3.99191>
- Marcillo, C., Benavides, C., Guatusmal, C., Yandar, S. & Romero, J. (2021). *Zona papera Nariñense: Una mirada a los ambientes productivos*. Mosquera, Colombia: Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (Agrosavia). <https://doi.org/10.21930/agrosavia.nbook.7404777>
- Marmolejo, D., & Ruiz, E. (2018). Tolerancia de papas nativas (*Solanum* spp.) a heladas en el contexto de cambio climático. *Scientia Agropecuaria*, 9(3), 393-400. <http://dx.doi.org/10.17268/sci.agropecu.2018.03.10>
- Mihajlović, M., Rekanović, E., Hrustić, J., Grahovac, M., & Tanović, B. (2017). Methods for management of soilborne plant pathogens. *Pesticides and phytomedicine*, 32(1), 9-24. <https://doi.org/10.2298/PIF1701009M>
- Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural (MADR) (2021) *La cadena de la papa. Dirección de Cadenas Agrícolas y Forestales junio 2021*. <https://sioc.minagricultura.gov.co/Papa/Documentos/2021-06-30%20Cifras%20Sectoriales.pdf>
- Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural (MADR). (2019). *La Cadena de la Papa: Indicadores e instrumentos marzo 2019*. <https://sioc.minagricultura.gov.co/Papa/Documentos/2019-03-31%20Cifras%20Sectoriales.pdf>
- Misawa, T., & Kurose, D. (2019). Anastomosis group and subgroup identification of *Rhizoctonia solani* strains deposited in NARO Genebank, Japan. *Journal of General Plant Pathology*, 85(4), 282-294. <https://doi.org/10.1007/s10327-019-00848-8>

- Monteros, A., & Delgado, R. (2021). Late blight resistance of Ecuadorian potato landraces: field evaluation and farmer's perception. *Revista Facultad de Agronomía de la Universidad de Zulia (LUZ)*, 38(3): 505-524. [https://doi.org/10.47280/RevFacAgron\(LUZ\).v38.n3.03](https://doi.org/10.47280/RevFacAgron(LUZ).v38.n3.03)
- Morales, R., García, M., Montejó, L., López, A., Calderón, R., Santo, O., & García, E. (2018). *Evaluación de la integración de métodos para el control de la costra negra (Rhizoctonia solani) en el cultivo de la papa (Solanum tuberosum L.)*. <https://www.cytacunoc.gt/wp-content/uploads/2019/05/Evaluacion-de-la-integraci%C3%B3n-de-metodos-para-el-control-de-la-costra-negra-1.pdf>
- Muñoz, M. (2012). *Interacción genotipo ambiente de 20 líneas de arveja arbustiva Pisum sativum L. para cinco municipios de la zona sur del departamento de Nariño* [Universidad de Nariño]. <https://biblioteca.udenar.edu.co/atenea/85214.pdf>
- Muzhinji, N., Truter, M., Woodhall, J., & Van der Waals, J. (2015). Anastomosis groups and pathogenicity of *Rhizoctonia solani* and binucleate *Rhizoctonia* from potato in South África. *Plant Disease*, 99(12), 1790-1802. <https://doi.org/10.1094/PDIS-02-15-0236-RE>
- Nielsen Homescan Colombia. (2018). *Descifrando el Consumo de Papa Fresca en los hogares colombianos*. <https://fedepapa.com/wp-content/uploads/2017/01/NIELSEN-Consumo-de-Papa.pdf>
- Nicks, R., & Lindhou, W. (2004). *Curso sobre mejoramiento para resistencia durable a patógenos especializados*. Tercera Edición. Quito, Ecuador: Wageningen Agricultural University, The Netherlands.
- Ñústez, C., Lizarazo, P., & Moreno, L. (2022). Rendimiento y variables poscosecha de cultivares de papa del grupo Phureja en ambientes contrastantes por altitud de la región Andina central de Colombia. *Ciencia & Tecnología Agropecuaria*, 23(2), e2197. [https://doi.org/10.21930/rcta.vol23\\_num2\\_art:2197](https://doi.org/10.21930/rcta.vol23_num2_art:2197)

- Ñústez, C. & Rodríguez, L. (2020). *Papa criolla (Solanum tuberosum Grupo Phureja): Manual de recomendaciones técnicas para su cultivo en el departamento de Cundinamarca*. Bogotá, Colombia: Corredor Tecnológico Agroindustrial.
- Ochoa, F. (2008). *Efecto in vitro y en invernadero de cepas mejoradas de Trichoderma spp. en el control de Rhizoctonia solani (Kühn)* [Universidad de Chile].
- Parra, J. (2009). *Estudio del uso de papa semilla certificada, fecha y profundidad de plantación para mejorar rendimiento, calidad sanitaria y comercial del cultivo de la papa (Solanum tuberosum L. ssp. tuberosum Hawkes)* [Universidad Austral De Chile].  
<http://cybertesis.uach.cl/tesis/uach/2009/fap259e/doc/fap259e.pdf>
- Peña, C. (2015). *Evaluación del contenido nutricional y actividad antioxidante en Solanum tuberosum grupo Phureja* [Universidad Nacional de Colombia].  
<https://repositorio.unal.edu.co/handle/unal/54851>
- Pérez, W., & Forbes, G. (2008). *El tizón tardío de la papa*. Lima, Perú: Centro Internacional de la Papa.
- Picarelli, M., Forgia, M., Rivas, E., Nerva, L., Chiapello, M., Turina, M., & Colariccio, A. (2019). Extreme diversity of mycoviruses present in isolates of *Rhizoctonia solani* AG2-2 LP from *Zoysia japonica* from Brazil. *Frontiers in cellular and infection microbiology*, 9, 244.  
<https://doi.org/10.3389/fcimb.2019.0024>
- Plan departamental de extensión agropecuaria del departamento de Nariño (PDEA) (2019). Gobernación de Nariño.  
<https://www.minagricultura.gov.co/ministerio/direcciones/Documents/PDEA%27s%20Aprobados/PDEA%20Nari%C3%B1o.pdf>
- Porras, P., & Herrera, C. (2015). *Modelo productivo de la papa variedad Corpoica-Mary para los departamentos de Cundinamarca y Boyacá*. Mosquera, Colombia: Corpoica- Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria.

- Proinpa, F. (2009). *Conocimiento local en el cultivo de la papa*. 1ed. Cochabamba, Bolivia: livegraphics.
- Pumisacho, M., & Sherwood, S. (2002). *El cultivo de la papa en Ecuador*. Quito, Ecuador: Editorial Abya Yala.
- Rodríguez, L. (2010). Origins and evolution of cultivated potato. A review. *Agronomía Colombiana*, 28(1), 9-17.
- Rodríguez, L. (2009). Teorías sobre la clasificación taxonómica de las papas cultivadas (*Solanum* L. sect Petota Dumort). Una revisión. *Agronomía Colombiana*, 27, 305-312.
- Rollhaiser, I. (2019). *Evaluación del comportamiento de una cepa de Trichoderma atroviride para manejo de Rhizoctonia solani Kühn en el cultivo de papa (Solanum tuberosum) en las principales zonas productivas de la provincia de Córdoba* [Universidad Nacional de Córdoba]. <http://hdl.handle.net/11086/14112>
- Roskov, Y., Ower, G., Orrell, T., Nicolson, D., Bailly, N., Kirk, P., Bourgoin, T., DeWalt, R., Decock, W., Nieukerken, E., Zarucchi, J., & Penev, L., eds. (2019). *Species 2000 & ITIS Catalogue of Life, 2019 Annual Checklist*. 2019. <https://www.catalogueoflife.org/col/info/cite>
- Rubio, O., Cadena, M., & 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.
- Samsatly, J., Copley, T., & Jabaji, S. (2018). Antioxidant genes of plants and fungal pathogens are distinctly regulated during disease development in different *Rhizoctonia solani* pathosystems. *PLoS One*, 13(2), e0192682. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0192682>
- Samsatly, J., Chamoun, R., Gluck, E., & Jabaji, S. (2016). Genes of the de novo and Salvage Biosynthesis Pathways of Vitamin B6 are Regulated under Oxidative Stress in the Plant Pathogen *Rhizoctonia solani*. *Frontiers in Microbiology*, 6, 1429. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2015.01429>
- Sandoval, C. (1987). *Enfermedades fungosas y bacterianas en papa (Boletín técnico)*. Chile: Estación Experimental Remehue.

- Seminario, A., Huerta, P., Vásquez, V., Seminario, J., Honorio, M., & Huerta, A. (2021). Productividad de quince cultivares tradicionales de papa Phureja en ocho ambientes distintos. *Revista mexicana de ciencias agrícolas*, 12(6), 949-960. <https://doi.org/10.29312/remexca.v12i6.2582>
- Siddiqui, S., Alamri, S., Alrumman, S., Meghvansi, M., Chaudhary, K., Kilany, M., & Prasad, K. (2015). Role of soil amendment with micronutrients in suppression of certain soilborne plant fungal diseases: a review. *Organic amendments and soil suppressiveness in plant disease management*, 363-380. [https://doi.org/10.1007/978-3-319-23075-7\\_17](https://doi.org/10.1007/978-3-319-23075-7_17)
- Soto, J., Medina, T., Aquino, Y., & Estrada, R. (2013). Diversidad genética de papas nativas (*Solanum* spp.) conservadas en cultivares nativos del Perú. *Revista Peruana de Biología*, 20(3), 215-222.
- Spooner, D., Núñez, J., Trujillo, G., Herrera, M., Guzmán, F., & Ghislain, M. (2007). Extensive simple sequence repeat genotyping of potato landraces supports a major reevaluation of their gene pool structure and classification. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 104, 19398-19403. <https://doi.org/10.1073/pnas.0709796104>
- Srivastava, S., Bist, V., Srivastava, S., Singh, P., Trivedi, P., Asif, M., Chauhan, P., & Nautiyal, C. (2016). Unraveling Aspects of *Bacillus amyloliquefaciens* Mediated Enhanced Production of Rice under Biotic Stress of *Rhizoctonia solani*. *Frontier in Plant Science*, 7, 1-16. <https://doi.org/10.3389/fpls.2016.00587>
- Stirling, G., Smith, M., Smith, J., Stirling, A., & Hamill, S. (2012). Organic inputs, tillage and rotation practices influence soil health and suppressiveness to soilborne pests and pathogens of ginger. *Australasian Plant Pathology*, 41(1), 99-112. <https://doi.org/10.1007/s13313-011-0096-0>
- Struik, P. (2007). *Responses of the potato plant to temperature*. En D. Vreugdenhil, J. Bradshaw, C. Gebhardt, F. Govers, D. MacKerron, M. Taylor, & H. Ross (Eds.), *Potato biology and biotechnology: Advances and perspectives* (pp. 367-391). Elsevier.

- Tariq, M., Khan, A., Asif, M., Khan, F., Ansari, T., Shariq, M., & Siddiqui, M. A. (2020). Biological control: a sustainable and practical approach for plant disease management. *Acta Agriculturae Scandinavica, Section B—Soil & Plant Science*, 70(6), 507-524. <https://doi.org/10.1080/09064710.2020.1784262>
- Tirado, R., Tirado, R., & Mendoza, J. (2018). Interacción genotipo x ambiente en rendimiento de papa (*Solanum tuberosum* L.) con pulpa pigmentada en cutervo, Perú. *Chilean journal of agricultural & animal sciences*. 34(3), 191-198. <http://dx.doi.org/10.4067/S0719-38902018005000502>
- Torrance, L., Cowan, G., McLean, K., MacFarlane, S., Al-Abedy, A., Armstrong, M. & Bryan, G. (2020). Resistencia natural al virus Y de la patata en *Solanum tuberosum* Grupo Phureja. *Genética Teórica y Aplicada*, 133 (3), 967-980. <https://doi.org/10.1007/s00122-019-03521-y>
- Torres, H. (2002). *Manual de las enfermedades más importantes en el Perú*. Lima, Perú: Centro Internacional de la Papa.
- Tovar, J. (2008). *Evaluación de la capacidad antagonista “in vivo” de aislamientos de Trichoderma spp. Frente al hongo fitopatógeno Rhizoctonia solani* [Pontificia Universidad Javeriana]. <http://hdl.handle.net/10554/8951>
- Tsrer, L. (2010). Biology, epidemiology and management of *Rhizoctonia solani* on potato. *Journal of Phytopathology*, 158(10), 649-658. <https://doi.org/10.1111/j.1439-0434.2010.01671.x>
- Tsrer, L.; & Peretz, I. (2005). The influence of the inoculum source of *Rhizoctonia solani* on development of black scurf on potato. *Journal of Phytopathology*, 153(4), 240-244. <https://doi.org/10.1111/j.1439-0434.2005.00962.x>
- Valbuena, R., Lasso, Z., Terán, C., Silva, E., Martínez, E., Sánchez, G., & Preciado, I. (2019). Modelo productivo para el cultivo de la papa (*Solanum tuberosum*), variedad Perla Negra, en el altiplano cundiboyacense. Mosquera, Colombia: Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (AGROSAVIA).

- Vallejo, F., & Estrada, S. (2002). *Mejoramiento genético de plantas, Universidad Nacional de Colombia, sede Palmira*. Cali, Colombia: Editorial Feriva S.A.
- Velásquez, J., Racines, M., Cruz, E., & Araujo, A. (2017). El cultivo de papa (*Solanum tuberosum* L.) en el Ecuador: Tecnología de producción y manejo de semilla. En Kromann, P., Cuesta, X., Montero, B., Cuasapaz, P., León, A., & Chulde, L. Memorias VII Congreso Ecuatoriano La Papa – Adaptación al cambio climático. INIAP, Carchi, Ecuador.
- Viola, R., Roberts, A., Haupt, S., Gazzani, S., Hancock, R., Marmiroli, N., Machray, G., & Oparkab, K. (2001). Tuberization in Potato Involves a Switch from Apoplastic to Symplastic Phloem Unloading. *The Plant Cell*, *13*(2), 385-398. <https://doi.org/10.1105/tpc.13.2.385>.
- Wright, P., Frampton, R., Anderson, C., & Hedderley, D. (2022). Factors associated with soils suppressive to black scurf of potato caused by *Rhizoctonia solani*. *New Zealand. Plant Protection*, *75*, (2022), 31-49. <https://doi.org/10.30843/nzpp.2022.75.11761>
- Yanar, Y., Yılmaz, G., Cesmeli, I., & Coskun, S. (2005). Characterization of *Rhizoctonia solani* isolates from potatoes in turkey and screening potato cultivars for resistance to AG-3 isolates. *Phytoparasitica*, *33*(4), 370-376. <https://doi.org/10.1007/BF02981304>
- Zevallos, E., Inga, J., Alvarez, F., Marmolejo, K., Paitan, R., Viza, I., Becerra, D., Rixi, G., & Silva, C. (2021). First signs of late blight resistance in traditional native potatoes of Pasco—Peru, a preliminary assay. *Agriculture & Food Security*, *10*(1), 1-10. <https://doi.org/10.1186/s40066-021-00330-9>
- Zhang, X., Li, D., Huo, H., Xing, X., Lian, Y., Yu, Z., & Hao, J. (2021). Improving evaluation of potato resistance to *Rhizoctonia solani* infection by optimizing inoculum-based method combined with toxin-based assay. *Crop Protection*, *144*, 105544. <https://doi.org/10.1016/j.cropro.2021.105544>

Zierer, W., Rüscher, D., Sonnewald, U., & Sonnewald, S. (2021). Tuber and tuberous root development.

*Annul Review of Plant Biology*, 72(1), 551-580. <http://doi.org/10.1146/annurev-arplant-080720-084456>

Zrenner, R., Verwaaijen, B., Genzel, F., Flemer, B., & Grosch, R. (2021). Transcriptional changes in

potato sprouts upon interaction with *Rhizoctonia solani* indicate pathogen-induced interference in the defence pathways of potato. *International journal of molecular sciences*, 22(6), 3094.

<https://doi.org/10.3390/ijms22063094>