



AVANCES EN EL MEJORAMIENTO GENÉTICO DE LA PAPA (*Solanum tuberosum* L.) PARA EL SUR DE COLOMBIA

Tulio César Lagos Burbano
Editor Científico



Editorial
Universidad de Nariño



Editorial
Universidad de **Nariño**

AVANCES EN EL MEJORAMIENTO
GENÉTICO DE LA PAPA
(*Solanum tuberosum* L.)
PARA EL SUR DE COLOMBIA

AVANCES EN EL MEJORAMIENTO
GENÉTICO DE LA PAPA
(*Solanum tuberosum* L.)
PARA EL SUR DE COLOMBIA

Universidad de Nariño
Facultad de Ciencias Agrícolas
Grupo de Investigación en Producción
en Frutales Andinos-GPFA

Editor Científico
TULLIO CÉSAR LAGOS BURBANO I.A., Ph.D
Profesor Titular, Facultad de Ciencias Agrícolas,
Universidad de Nariño



Editorial
Universidad de **Nariño**

Grupo de Investigación en Producción en Frutales Andinos-GPFA
Avances en el mejoramiento genético de la papa (*Solanum tuberosum* L.) para el sur
de Colombia / Grupo de Investigación en Producción en Frutales Andinos-GPFAR;
Tulio César Lagos Burbano, editor científico. --1ª ed.-- San Juan de Pasto: Editorial
Universidad de Nariño, 2021

256 p. : il. col., tablas
Incluye bibliografía al final de cada capítulo

ISBN: 978-628-7509-14-6 Impreso
ISBN: 978-628-7509-15-3 Digital

1. Papa (tubérculo)--Mejoramiento genético 2. Papa (tubérculo)--Investigaciones--Co-
lombia 3. Mejoramiento selectivo de la papa--Sur de Colombia 4. Papa (tubérculo)-
-Mejoramiento tecnológico y productivo 5. Papa (tubérculo)--Producción--Nariño
6. Papa (tubérculo)--Caracterización morfológica

I. Lagos Burbano, Tulio César, Editor científico II. Mejía España, Diego Fernando III.
Martínez Moncayo, Carolina IV. Andrade Díaz, Danita V. Latorre Vásquez, Laura
Inés VI. Trejo Escobar, Diego Martín VII. Valencia Flórez, Luis Fernando

631.5233 G892 – SCDD-Ed. 22

Biblioteca Alberto Quijano Guerrero

Avances en el mejoramiento genético de la papa (*Solanum tuberosum* L.) para el sur de Colombia

© Tulio César Lagos-Burbano
tulioclagos@hotmail.com
Editor científico

© Editorial Universidad de Nariño

ISBN: 978-628-7509-14-6 (impreso)

ISBN: 978-628-7509-15-3 (digital)

Primera edición

Revisión y corrección de estilo:

Mg. Manuel E. Martínez R.

Impresión:

Graficolor Pasto SAS

Calle 18 No. 29-67 Tel. 7310652

graficolorpasto@hotmail.com

Octubre de 2021

San Juan de Pasto, Nariño, Colombia

Prohibida la reproducción total o parcial, por cualquier
medio o con cualquier propósito, sin autorización escrita
de los autores o de la Editorial Universidad de Nariño.

AUTORES DE CAPÍTULOS

Tulio César Lagos-Burbano

Ing. Agrónomo. Ph.D., Profesor Titular. Universidad de Nariño, Facultad de Ciencias Agrícolas, Grupo de Investigación en Producción de Frutales Andinos GPFA.

San Juan de Pasto, Nariño, Colombia

E-mail: tclagosb@udenar.edu.co

<https://orcid.org/0000-0001-9222-4674>

Diego Fernando Mejía-España

Ing. Agroindustrial, candidato a Dr. Universidad de Nariño, Grupo de Investigación Tecnologías Emergentes en Agroindustria.

San Juan de Pasto, Nariño, Colombia

E-mail: diegomejiaes@udenar.edu.co

<https://orcid.org/0000-0002-6707-580>

Carolina Martínez Moncayo

Ing. Agrónomo, Ph.D. Grupo de Investigación en Producción de Frutales Andinos, Universidad de Nariño (UDENAR), Ciudadela Universitaria Torobajo, 520008

Pasto, Nariño, Colombia

E-mail: cmartinezm@udenar.edu.co

<https://orcid.org/0000-0001-5336-1510>

Danita Andrade-Díaz

Ing. Agrónomo, M.Sc., candidata a Dr. Grupo de Investigación en Producción de Frutales Andinos, Universidad de Nariño (UDENAR), Ciudadela Universitaria Torobajo, 520008

Pasto, Nariño, Colombia

E-mail: danitaan@gmail.com

<https://orcid.org/0000-0001-7579-4739>

Laura Inés Latorre-Vásquez

Ing. Agroindustrial, MSc. Universidad de Nariño, Grupo de Investigación Tecnologías Emergentes en Agroindustria.

San Juan de Pasto, Nariño, Colombia

E-mail: lilatorrev@udenar.edu.co

<https://orcid.org/0000-0002-6816-7793>

Diego Martín Trejo-Escobar

Ing. Agroindustrial, M.Sc. Universidad de Nariño, Grupo de Investigación Tecnologías Emergentes en Agroindustria.

San Juan de Pasto, Nariño, Colombia

E-mail: dmtrejoe@udenar.edu.co

<https://orcid.org/0000-0002-5651-8453>

Luis Fernando Valencia-Flórez

Qco. Esp., Universidad de Nariño, Grupo de Investigación Tecnologías Emergentes en Agroindustria.

San Juan de Pasto, Nariño, Colombia

E-mail: lfvalenciaf@udenar.edu.co

<https://orcid.org/0000-0002-2364-8227>

Contenido

Prefacio 13

Tulio Cesar Lagos Burbano I.A, Ph.D

Capítulo 1

El cultivo de la papa en Colombia 17

Tulio César Lagos-Burbano, Danita Andrade-Díaz

Capítulo 2

Diversidad genética de una población de *Solanum tuberosum*
L. obtenida de semilla sexual 35

**Carolina Martínez-Moncayo, Danita Andrade-Díaz,
Tulio César Lagos-Burbano**

Capítulo 3

Caracterización morfológica de tubérculos de 60 genotipos
de *Solanum tuberosum* grupo Phureja del departamento de
Nariño 59

**Laura Latorre-Vásquez, Diego Martín-Trejo, Luis Valencia-
Flórez, Diego Mejía-España**

Capítulo 4

Caracterización morfológica de la colección de *Solanum*
tuberosum grupos Phureja y Andígena de la Universidad
de Nariño 85

Danita Andrade-Díaz, Tulio César Lagos-Burbano

Capítulo 5

Selección de genotipos de *Solanum tuberosum* por su respuesta al estrés hídrico 123

Danita Andrade-Díaz, Tulio César Lagos-Burbano

Capítulo 6

Respuesta de genotipos de *Solanum tuberosum* grupo Phureja a diferentes niveles de fertilización y densidades de siembra 169

Carolina Martínez, Tulio César Lagos-Burbano

Capítulo 7

Respuesta de 11 genotipos de papa criolla (*Solanum tuberosum* Grupos Phureja y Andígena) a *Phytophthora infestans* (Mont.) de Bary 197

**Patricia Alexandra Ordóñez-Abrigo,
Tulio César Lagos-Burbano**

Anexos 227

Agradecimientos

Al Sistema General de Regalías - SGR, por financiar la publicación de este libro, producto de la investigación “Mejoramiento Tecnológico y Productivo del sistema papa en el departamento de Nariño”, financiada por el Fondo de Ciencia, Tecnología e Innovación - FCTeI del SGR.

Prefacio

El tubérculo de la papa (*Solanum tuberosum* L.) es el producto alimenticio más importante que tiene el género humano para garantizar su alimentación y evitar el hambre alrededor del mundo, especialmente en los países en desarrollo. Más de mil millones de personas lo consumen, y su cultivo se distribuye en alrededor de 130 países a nivel mundial, en altitudes que van desde los cero hasta los 4700 msnm. En Colombia, el cultivo se ubica en regiones de clima frío de la región natural Andina. Es uno de los tres alimentos más cultivados del país, su producción se concentra en más de un 80%, en los departamentos de Nariño, Boyacá y Cundinamarca.

Dentro de los problemas de campo a los que se enfrenta el cultivo de papa en las regiones productoras del mundo están los de origen biótico y abiótico. Los primeros han sido estudiados ampliamente tanto a nivel nacional como a nivel mundial. Sin embargo, es necesario seguir investigando sobre estos problemas, debido a que los organismos biológicos afectan continuamente a los cultivos y a los cultivares que usan los agricultores. Por otro lado, los cambios drásticos del clima ocasionan problemas de estrés abiótico.

Los estreses abióticos se definen como factores no vivos que limitan el desarrollo de las plantas y no permiten que estas expresen el máximo potencial genético de rendimiento. Los cultivos

presentan ciertos requerimientos nutricionales y ambientales para poder expresar su potencial genético, los cuales se han definido a través de la evolución por procesos de selección natural, domesticación y selección antrópica bajo los esquemas de mejoramiento genético.

Todos los cultivos se desarrollan bajo ciertos rangos de factores ambientales climáticos y sistemas de cultivo con ciertos límites inferiores y superiores. Si estos límites son alterados drásticamente, las plantas sufrirán estrés en detrimento de la productividad expresada por el rendimiento por unidad de área. En este sentido, el cultivo de la papa, especialmente en el sur de Colombia, está sometido a estreses abióticos con mayor o menor intensidad. La ocurrencia de heladas, la variación de temperatura y precipitación debido al cambio climático, períodos prolongados de lluvia, seguidos por períodos prolongados de sequía, la baja disponibilidad de nutrientes por erosión química y física del suelo y los altos niveles de aluminio intercambiable asociados a suelos ácidos, son algunas de las condiciones que pueden ocasionar estrés al cultivo.

Muchos de estos factores estresantes se presentan en las regiones paperas del sur de Colombia. Bajo este escenario, el mejoramiento genético es una de las herramientas clave para mitigar los efectos indeseables de estos factores estresantes, especialmente, los causados por el cambio climático. El desarrollo de cultivares mejorados con tolerancia a condiciones de estreses abióticos es una alternativa sostenible y sustentable para asegurar el presente y el futuro del cultivo de la papa, no solo para el sur sino para todo el territorio colombiano que cultiva este tubérculo.

Con base a lo mencionado, este libro de investigación llamado “Avances en el mejoramiento genético de la papa (*Solanum tuberosum* L.) para el sur de Colombia”, tiene como objetivo y propósito principal, presentar los resultados de investigación generados en el proyecto “Mejoramiento Tecnológico y Productivo del sistema papa en el departamento de Nariño”, financiado por el Fondo CTeI del SGR.

Este libro está estructurado en siete capítulos que fueron desarrollados por diversos autores, bajo los preceptos del método científico, en el cual se abordan las investigaciones relacionadas con la caracterización morfológica y la diversidad genética del germoplasma que hace parte de la colección de trabajo de la papa de la Universidad de Nariño; así mismo, se analiza y se discute la respuesta de genotipos a estrés, a diferentes niveles de fertilización y la reacción de genotipos a la enfermedad causada por *Phytophthora infestans*, que es el principal problema biótico que se presenta en las regiones productoras de papa de América Latina y el mundo.

Las investigaciones detalladas en este libro, son la base para consolidar un programa de mejoramiento genético del cultivo de papa para el sur de Colombia.

Tulio César Lagos-Burbano I.A, Ph.D

Editor Científico



Capítulo

1

El cultivo
de la papa
en Colombia

- *Tulio César Lagos-Burbano*¹
- *Danita Andrade-Díaz*²

1.1 Resumen

Dentro de los cultivos que han soportado la alimentación del mundo, la papa es uno de los de mayor distribución y expansión. Se cultiva en más de 100 países desde el nivel del mar en los Países Bajos hasta los 5.500 msnm en los Himalayas. Junto con el trigo, el maíz y el arroz, la papa es uno de los cuatro alimentos básicos de la humanidad y en Colombia su importancia radica en que es uno de los cultivos importantes en la economía campesina y la seguridad alimentaria. El objetivo de este capítulo fue describir la situación del cultivo de papa en el país a través del análisis de información secundaria que reposa en las entidades oficiales como FEDEPAPA, AGRONET y el MADR. El cultivo de papa en Colombia es uno de los que soporta la alimentación del País. En el 2018, se sembraron 94.129,8ha con una producción de 2.098.420,9t y un rendimiento de 15,99t/ha. En un gran porcentaje,

-
1. Ing. Agrónomo. Ph.D. Universidad de Nariño, Facultad de Ciencias Agrícolas, Grupo de Investigación en Producción de Frutales Andinos GPFA. San Juan de Pasto, Nariño, Colombia; e-mail: tclagosb@udenar.edu.co, <https://orcid.org/0000-0001-9222-4674>
 2. Ing. Agrónomo, candidata a Dr. Grupo de Investigación en Producción de Frutales Andinos, Universidad de Nariño (UDENAR), Ciudadela Universitaria Torobajo, 520008, Pasto, Nariño, e-mail: danitaan@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0001-7579-4739>

la producción se destina al consumo en fresco. Entre el 80 al 90% de la producción y el área sembrada de papa se concentra en los departamentos de Antioquia, Cundinamarca, Boyacá y Nariño, en áreas ubicadas entre los 2500 a 3500 msnm. En estos departamentos los rendimientos oscilan entre 21 a 25t/ha. De hecho, en estos departamentos es donde el cultivo ha presentado el mayor desarrollo tecnológico. Las variedades más utilizadas son Parda Pastusa, Pastusa Suprema, Diacol Capiro, Criolla, Tuquerreña, Ica Única e Ica Puracé.

Palabras clave: *Solanum tuberosum*, producción, área cultivada, rendimiento, zonas productoras.

1.2 Abstract

Among crops that have supported the world's food supply, the potato is one of the most widely distributed and expanded. It is grown in more than 100 countries from sea level in the Netherlands to 5.500 meters above sea level in the Himalayas. Along with wheat, maize and rice, the potato is one of the four staple foods of humankind and in Colombia, its importance lies in the fact that it is one of the most important crops in the peasant economy and food security. The objective of this chapter was to describe the situation of the crop at the country level through the analysis of secondary information from official entities such as FEDEPAPA, AGRONET and MADR. The potato crop in Colombia is one of the crops that supports the country's food supply. In 2018, 94129.8ha were planted, with a production of 2098420.9t and a yield of 15.99t/ha. In a large percentage, the production is destined for fresh consumption. Between 80 and 90% of potato production and planted area is concentrated in the departments of Antioquia, Cundinamarca, Boyacá and Nariño, in areas located between 2500 and 3500 meters above sea level. Yields in these departments range from 21 to 25t/ha. In fact, it is in these departments where the crop has shown the greatest technological development. The most commonly used varieties are Parda Pastusa, Pastusa Suprema, Diacol Capiro, Criolla, Tuquerreña, Ica Unica and Ica Purace.

Keywords: *Solanum tuberosum*, production, cultivated area, yield, producing zones.

1.3 Introducción

Dentro de los cultivos que han soportado la alimentación del mundo, la papa es uno de los de mayor distribución y expansión. Figura entre los diez alimentos más importantes producidos en los países en desarrollo con una producción global de más de 462 millones de toneladas por año en el 2019 y se ubica como el quinto cultivo más importante del mundo, después de la caña de azúcar, el maíz, el trigo y el arroz (FAOSTAT, 2021). La expansión del cultivo de papa se deriva de su gran capacidad de adaptación a diferentes climas y sistemas de cultivo, así como a su consumo. Se cultiva en más de 100 países y el mercado global ha crecido debido a sus atributos positivos, particularmente por su alto valor nutricional (Torero, 2017).

El cultivo de papa, puede encontrarse desde el nivel del mar en los Países Bajos hasta los 5.500 msnm en los Himalayas. En las zonas tropicales se ubica en las regiones de clima frío entre 2.000 a 4.000 msnm. Junto con el trigo, el maíz y el arroz, la papa es uno de los cuatro alimentos básicos de la humanidad. China es el país en donde ha habido un mayor crecimiento en la producción de papa. Las papas frescas en China se consumen a través de procesamiento, el cual representa el 40% de la producción. El consumo de papa se ha mantenido estable en ese país, aunque no se permite el acceso de este alimento en crudo para el consumo en fresco, debido a preocupaciones fitosanitarias. China únicamente deja importar semillas de papa de Alaska en cantidades pequeñas provenientes de EE.UU. (Linares & Gutiérrez, 2001; FEDEPAPA, 2019).

Desde el punto de vista culinario y nutricional, la papa es una fuente rica en proteínas, fibra, carbohidratos, potasio, minerales, vitamina C, entre otras vitaminas como el complejo b, esenciales para el metabolismo de hidratos de carbono y grasas (Devaux *et al.*, 2014; Miranda, *et al.*, 2020). A pesar de que su área cultivada se mantiene estable, cerca de 19 millones de hectáreas desde la

década de 1990, su rendimiento a nivel global supera las 19t/ha, y aumenta constantemente (FAO, 2017).

La papa es un cultivo de seguridad alimentaria que puede auxiliar a los agricultores de bajos ingresos y a los consumidores vulnerables a superar problemas de suministro y demanda mundial de alimentos. Dentro de la economía mundial de la papa, su consumo de forma procesada se ha incrementado rápidamente debido al aumento de alimentos de fácil preparación. Por ejemplo, en EEUU se procesa la mitad de la cosecha (FEDEPAPA, 2019).

En Colombia, el consumo per cápita anual de papa presenta grandes diferencias entre regiones. Es relativamente alto en zonas frías y bajo en zonas de clima cálido, como la Costa Atlántica y los Llanos Orientales, en promedio es de 60 kilos y es la principal actividad agrícola de clima frío que se extiende en cerca 250 municipios, donde el cultivo se establece en zonas de minifundio con factores de producción limitantes, especialmente, en acceso a los servicios públicos, la educación, salud y asistencia técnica, entre otros; además, el cultivo es de economía campesina, con un bajo nivel de escolaridad por parte de agricultores que trabajan en predios de minifundio. El 90% de los cultivos se desarrolla con tecnología tradicional y sólo el 10% utiliza tecnología más avanzada (FEDEPAPA, 2004; FEDEPAPA, 2019).

Para el 2017, en Colombia se sembraron 163.361,41 ha con una producción de 2.819.026 toneladas. Además, este cultivo constituye una importante fuente de empleo e ingresos para alrededor de 19.964 familias, ya sea como cultivo comercial o incluido en programas de seguridad alimentaria. Cerca del 70% de la producción nacional, se destina para el mercado en fresco; mientras que, solamente un 11% es usado para el autoconsumo por parte de las familias productoras, un 8% se destina como semilla y un 10% para el procesamiento industrial (FAO, 2017; FAFP y Fedepapa, 2018; Superintendencia de Industria y Turismo, 2019).

La papa sin procesar, es un producto destinado fundamentalmente al consumo interno del país. Los principales productos industriales que utilizan papa como materia prima son: papa pre-

cocida, prefrita congelada (papa a la francesa o papa en bastón), hojuelas de papa (chips), fécula de papa (almidón) y, en menor grado, harina, copos, gránulos y pellets de papa (Fedepapa, 2018).

En cuanto a condiciones ambientales, el cultivo de la papa está expuesto a factores de estrés por déficit o exceso de agua, salinidad, diferencia de nutrientes en el suelo, y congelamiento por efecto de factores de clima adverso, entre otros (Vargas *et al.*, 2020). Desde el punto de vista agronómico, se enfrenta una limitante competitiva relacionada con los altos costos de producción y la carencia de variedades con tolerancia a plagas y enfermedades que limitan los rendimientos. En la actualidad los problemas fitosanitarios han hecho que el cultivo se desplace hacia las partes altas de las montañas, y se evidencia una gran dificultad para la producción de semilla, altos costos de producción y baja inocuidad del producto. Además, dado el alto número de productores, es imprescindible promover la organización empresarial con el propósito de que se obtengan beneficios por economías de escala en la compra de insumos y se gane poder de negociación en los mercados al consolidar volúmenes importantes. A nivel general se requiere consolidar organizaciones de productores y poner en marcha procesos de agregación de valor (FAO, 2017; FAFP y Fedepapa, 2018; Superintendencia de Industria y Turismo, 2019).

Acorde con lo anterior, el cultivo de papa se muestra como una de las actividades socioeconómicas de mayor importancia económica, de ahí que el objetivo de este capítulo fue describir la situación actual del cultivo en Colombia.

1.3 Área cosechada, producción y rendimiento de la papa en Colombia

Colombia ocupa el vigésimo sexto lugar en cuanto al área y producción de papa a nivel mundial, con 133.570 hectáreas y 3.123.804t anuales, respectivamente (FAO, 2021). Según AGRO-NET (2021) para el 2007, en Colombia existían 153.254,2 ha sembradas con papa, superficie que ha tenido fluctuaciones, si se considera el periodo entre 2007 y 2018. El crecimiento del área sembrada ha tenido un comportamiento exponencial de

tercer orden con tres disminuciones fuertes, una en el 2009 con 147.810,92ha, otra en el 2013 con 145.423,65 ha y en el 2018 con 9.4129,79 ha. La mayor área sembrada se presentó en el 2017 con 163.361,41 ha. Los períodos de reducción e incremento de un año a otro oscilaron entre -42,38% (2017-2018) hasta un 8,06% (2009-2010). A partir del 2012, hubo una reacción positiva hasta el 2017 con una fuerte disminución para el 2018 (Figura 1.1).

Las fluctuaciones en el área de siembra son ocasionadas principalmente por variaciones de precio en el mercado, y factores limitantes para la producción, tales como enfermedades, plagas, manejo de la fertilización, calidad de la semilla y factores abióticos como las sequías prolongadas y los daños por heladas (FAFP y Fedepapa, 2018), así como la disminución progresiva del consumo interno y de las limitaciones para la exportación (FEDEPAPA, 2004).

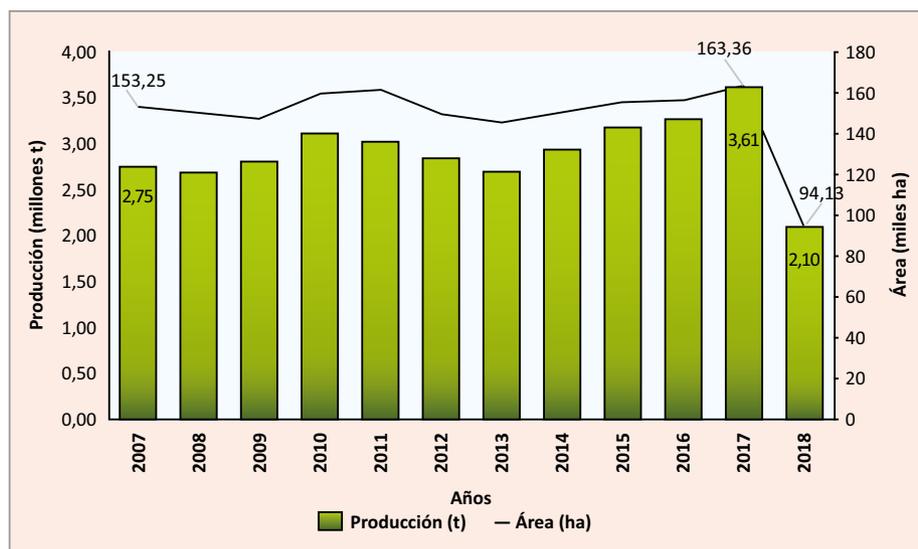


Figura 1.1. Área (ha) y producción (t) de papa registrados en Colombia entre 2007-2018 (Agronet, 2021).

El comportamiento de la producción en Colombia es muy similar al área cosechada. Entre el 2007 y 2018, se observa la misma tendencia del área de un año a otro. El crecimiento osciló

entre -41,91% (2017-2018) y el 10,98% (2010-2011). La mínima producción se obtuvo en el 2018 con 2.098.420,9t y la máxima en el 2017 con 3.612.706,77t. Esto implica que en todo el período no se alcanza siquiera a compensar la tasa de crecimiento de la población de un solo año que es de 1,18% (FAFP y Fedepapa, 2018; AGRONET, 2021), causando fuertes fluctuaciones de precios e inestabilidad del producto en el mercado, además de incrementar la necesidad de satisfacer la demanda de los alimentos a nivel mundial y la demanda productiva (Márquez *et al.*, 2020).

En la Figura 1.2 se presenta el comportamiento del rendimiento (t/ha) del cultivo de papa en la región productora de Colombia, que compete a los departamentos de Antioquia, Cundinamarca, Boyacá y Nariño, principalmente. Se observa una notable variación, si se tiene en cuenta el período comprendido entre 2007 y 2018. El rango de variación del rendimiento de un año a otro, fluctuó entre el -8,5% y al 9,93%. A pesar de la disminución del área y producción registrada en el 2018, a partir del año 2012 el rendimiento presenta incrementos constantes a partir del 2012, donde se observa el máximo rendimiento en el año 2017 con 21,4t/ha (Agronet, 2021).



Figura 1.2. Rendimiento (t/ha) de papa registrados en Colombia entre 2007-2018,

A partir del 2007, los rendimientos han oscilado entre 17,42 y 21,4t/ha con un promedio de 19,2t/ha. Lo anterior, evidencia que en los últimos años el sector de papa ha sido más productivo, debido que hay mejor y mayor uso de tecnología respecto a temas de plagas y enfermedades, además, los agricultores comienzan a percibir los beneficios de usar semilla certificada en sus cultivos de papa y la incorporación de nuevas variedades (FAFP y Fedepapa, 2018; Fedepapa, 2019).

1.4 Variedades de papa cultivadas en Colombia

En Colombia, existen más de 30 variedades mejoradas de papa, las cuales se han obtenido en los últimos 50 años; igualmente, se tienen cultivares nativos o regionales que se han adaptado a los diversos pisos térmicos del país. Todos los materiales genéticos pertenecen a las especies cultivadas *Solanum tuberosum* grupo Andígena o híbridos entre este y *Solanum tuberosum* grupo *Tuberosum*, adaptados a días neutros y a temperaturas más frías que las alturas andinas colombianas (Rosero *et al.*, 2020). Así mismo, existen otras especies cultivadas *Solanum phureja* y *Solanum chaucha*, comúnmente conocidas como papas criollas o papas amarillas (Moreno, 2000). *Solanum andígena* o grupo Andígena se caracteriza por ser tetraploide y altamente polimórfico, y desde el punto de vista genético se considera como el más estrechamente relacionado con *S. tuberosum* subsp. *tuberosum* o *S. tuberosum* Grupo Chilotanum, y como su posible ancestro. Estos tubérculos se siembran en las regiones costeras de Chile, desde donde se habrían dispersado hacia el resto del mundo. Estos grupos se conocen como *Solanum tuberosum* (Rodríguez, 2010).

De las variedades existentes, únicamente se ha generalizado el empleo de cuatro llamadas “de año”: Parda Pastusa, Diacol Capiro, ICA Puracé, ICA Nariño y la Yema de Huevo o papa criolla. Esto ha incrementado la presencia de enfermedades como la gota (*Phytophthora infestans*) y de plagas como el gusano blanco (*Premnotripes vorax*) y las polillas *Pthorimea operculella* y *Tecia solanivora* (Moreno, 2000). Además de las anteriores, se reportan como las más utilizadas Tuquerreña o Sabanera, Pastusa Supre-

ma, Rubí, Salentuna, Carriza, Diacol Capiro-r12, ICA Única, ICA Nevada, Milenio-1 y Diacol Monserrate, entre otras (DANE, 2013).

Entre los años 2003 y 2006, la Universidad Nacional de Colombia, sede Bogotá, liberó para Boyacá y Cundinamarca las variedades de papa tetraploide Superior, Pastusa Suprema, Esmeralda, Betina, Punto Azul, Rubí y Roja Nariño (Consejo Nacional de la Papa, 2018). Hasta el 2010 predominaban las variedades Pastusa Suprema, Parda Pastusa, Esmeralda y Betina, con menores porcentajes de difusión y adopción: Punto Azul, Rubí y Roja Nariño, la superficie total de cultivo de estas variedades en el 2010 alcanzó un 43% de la superficie total de papa en Boyacá y 53% en Cundinamarca (Barrientos y Núñez, 2014). Como se aprecia en la Tabla 1.1, la variedad Superior ha logrado ocupar cerca del 23% del área sembrada a nivel nacional, sustituyendo una gran parte del área que se sembraba con Parda Pastusa y Pastusa Suprema. Ello se debe a su alta productividad en campo, a su excelente calidad culinaria y a su aceptación en los mercados mayoristas (Consejo Nacional de la Papa, 2018).

Tabla 1.1. Distribución del área sembrada (hectáreas) de las principales variedades de papa en Colombia (2018).

Dpto.	PS	PP	S	DC	T	IP	IU	Criolla	Otras
Antioquia	-	-	265	5.159	-	884	-	610	247
Boyacá	3.556	3.220	7.646	6.873	4.676	19	4.910	1.983	2.693
C/marca	6.036	5.902	15.839	8.800	624	154	4.597	2.793	3.522
Nariño	2.250	2.745	3.665	6.864	-	-	2.982	2.347	4.436
Otros	2.221	2.276	2.457	2.140	-	-	1.480	1.054	2.252
Total	14.063	14.144	29.872	29.837	5.300	1.057	13.969	8.787	13.149

Fuente: Consejo Nacional de la Papa, 2018, Dpto. = departamento, PS = Pastusa Suprema, PP= Parda Pastusa, S= Superior, DC = Diacol Capiro, T= Tuquerreña, IP= ICA Puracé, IU= ICA Única.

1.5 Zonas productoras de papa en Colombia

Este cultivo de papa se desarrolla de manera comercial en 11 departamentos del país principalmente, pero sólo cuatro de ellos concentran alrededor del 90% de área y producción (FAFP y Fedepapa, 2018). Los departamentos más importantes en la

producción de papa son, en su orden, Cundinamarca, Boyacá, Nariño y Antioquia (Agronet, 2021).

En el 2018, Antioquia produjo 71.000t, que representa el 3,4% de la producción nacional. Boyacá, en el mismo año produjo 516t con una participación del 24,59% y Cundinamarca con 1.683.000t que representa el 25,6% de la producción nacional, es el mayor productor de papa de Colombia. Nariño por su parte, alcanzó las 398.851,47t, con una participación del 19%. Además, en estos departamentos se registran los rendimientos más altos, que oscilan entre 20 a 25t/ha (Figura 1.3; Agronet, 2021).

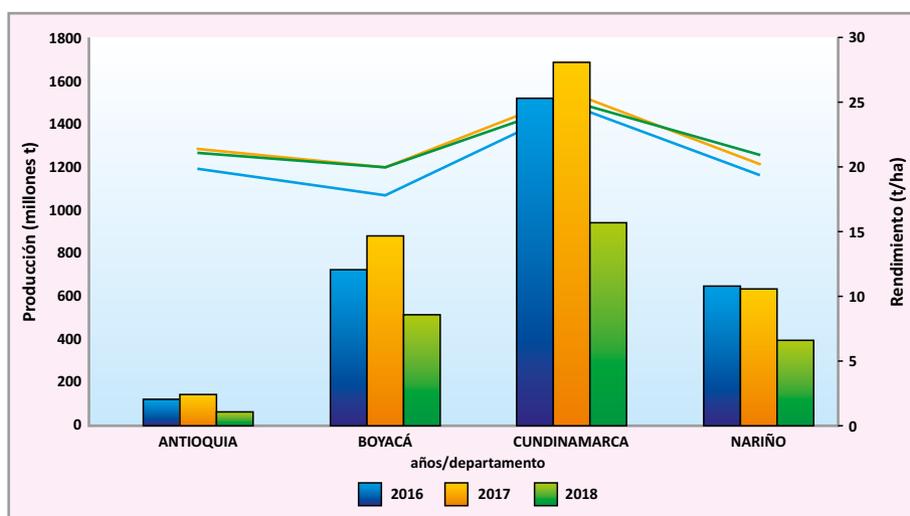


Figura 1.3. Producción en miles de toneladas y rendimiento en t/ha de los principales departamentos productores de papa en Colombia entre 2016-2018.

En Colombia, la producción de papa se distribuye en cerca de 14 departamentos, pero Cundinamarca, Boyacá, Nariño y Antioquia poseen más del 80% de la superficie cultivada. El cultivo, en general, tiene un carácter minifundista. Son los pequeños productores, con escaso acceso a tecnología y recursos financieros, los de mayor número y participación en la producción, especialmente en los departamentos con mayor área sembrada. Una de las características principales del cultivo es la dependencia casi total del régimen de lluvias, lo cual se traduce en una muy de-

finida estacionalidad en su producción (Rodríguez *et al.*, 2020). En cuanto al uso de semilla certificada cabe anotar que éste es el insumo que en mayor medida determina el éxito o fracaso de la actividad productiva y representa aproximadamente el 12% de los costos totales de producción. El 99% de los agricultores utilizan tubérculos de la misma finca o de cultivos vecinos como semilla, lo cual aumenta el riesgo de pérdidas económicas por la diseminación involuntaria de plagas y enfermedades, baja los rendimientos y eleva el costo de control fitosanitario (MADR, 2006).

En el departamento de Antioquia, existen dos zonas de montaña con 25 municipios. La región del Oriente que incluye los municipios de La Unión, El Carmen de Viboral, San Vicente, San Pedro de los Milagros, Abejorral, Marinilla, Santuario, Santa Rosa de Osos, Belmira, y Sonsón, en alturas no superiores a 2.900 msnm. Las variedades Diacol Capiro, Ica Puracé, Criolla, Nevada y Paramillo, se siembran entre 2.100 y 2.800 msnm, temperatura media entre 14 y 17°C, precipitación pluvial anual entre 1.500 y 2.000 mm. La zona Norte está comprendida entre 2.400 y 2.700 msnm, con temperaturas medias entre 14 y 15°C, precipitación anual entre 2.200 y 2.500 mm; la topografía es diversa, desde zonas planas, onduladas, hasta zonas quebradas. Los suelos son ácidos con diferentes contenidos de materia orgánica y niveles de fertilidad, bajo sistemas productivos predominantes de rotación pasto-papa (Consejo Nacional de la Papa, 2018).

Antioquia es el único departamento del país en donde toda la papa se comercializa lavada y el consumidor ya ha tomado el hábito de comprarla con el valor agregado de lavado y empaque (FAFP y Fedepapa, 2018).

En Boyacá el cultivo de papa se distribuye en 82 municipios. Los principales son Ventaquemada, Siachoque, Toca, Chíquiza, Cómbita, Motavita, Soracá, Tunja, Úmbita, Saboyá, Arcabuco y Samacá. El cultivo se distribuye entre los 2500 hasta los 3500 msnm, con una precipitación promedio que oscila entre 700 y 1000 mm al año, con tendencia histórica a disminuir. El promedio anual de temperatura es de 14°C. La humedad relativa máxima diaria alcan-

za 70 a 100% y la mínima de 40 a 80%. Las variedades sembradas son Pastusa Suprema, Diacol Capiro, ICA Única, Tuquerreña y Parda Pastusa. El 95% se destina al consumo en fresco y el 5% al procesamiento industrial. Sus principales mercados son Bogotá, los departamentos del Meta y Casanare, así como, algunos de la Costa Atlántica (Carvajal *et al.*, 2000; FAFP y Fedepapa, 2018).

En el departamento de Cundinamarca, el cultivo de papa se siembra en 61 municipios, siendo los principales municipios productores Villapinzón, Chocontá, Tausa, Bogotá, Subachoque, Pasca, Zipaquirá, Carmen de Carupa, Lenguaque y Guasca. El 60% de los cultivos se establecen entre 2500 a 2600 msnm, el 37% en altitudes entre 3.000 y 3500 msnm y el 3% por encima de 3.500 msnm. Las variedades utilizadas en este departamento son Parda Pastusa, Pastusa Suprema, Diacol Capiro conocida como R-12 Negra, Criolla, Tuquerreña, Ica Única, Ica Puracé y otras variedades regionales sembradas en menor proporción. Desde este departamento se despacha producto para el Eje Cafetero, Medellín, la Costa Atlántica y los Llanos Orientales, principalmente (FEDEPAPA, 2004; FAFP y Fedepapa, 2018).

En el departamento de Nariño, la papa se produce en 21 municipios, dentro de los cuales se destacan Ipiales, Pasto, Pupiales, Túquerres, Sapuyes, Potosí, Guachucal, Aldana, Tangua, Cuaspud y Contadero. Los cultivos de papa en Nariño se distribuyen en zonas ubicadas entre los 2.600 y 3.400 msnm. Los suelos predominantes son ácidos, derivados de ceniza volcánica con diferentes niveles de fertilidad limitada por alta fijación de fósforo. La topografía es ondulada a quebrada con algunas áreas planas a ligeramente inclinadas, como el altiplano nariñense, que tradicionalmente ha permitido la mecanización (FEDEPAPA, 2004). Las variedades utilizadas son Pastusa Suprema, Diacol Capiro, ICA Única, Parda Pastusa y otras variedades regionales. Cerca del 10% de su producción se destina al procesamiento industrial en plantas ubicadas en el Valle del Cauca y Bogotá. El 90% restante se destina al consumo en fresco. Es el departamento con menores costos de producción como consecuencia del uso de insumos

provenientes de Ecuador y el menor costo de la mano de obra (FAFP y Fedepapa, 2018).

1.6 Conclusiones

El cultivo de la papa en Colombia es de economía campesina y es uno de los cultivos que soporta la alimentación del país. En un 70%, la producción se destina al consumo en fresco y se concentra en los departamentos de Antioquia, Cundinamarca, Boyacá y Nariño, entre los 2500 a 3500 msnm. Las variedades más utilizadas son Parla Pastusa, Pastusa Suprema, Diacol Capiro, Criolla, Tuquerreña, Ica Única e Ica Purace.

1.7 Bibliografía del Capítulo 1

AGRONET. 2021. Red de Información y Comunicación del Sector Agropecuario de Colombia. Estadísticas. Área sembrada y cosechada del cultivo de papa. <https://www.agronet.gov.co/estadistica/Paginas/home.aspx?cod=1#; consulta: 28/2/2021>.

Barrientos Juan Carlos y Núñez Carlos Eduardo. 2014. Difusión de seis nuevas variedades de papa en Boyacá y Cundinamarca (Colombia) entre 2003 y 2010. Revista Colombiana de Ciencias Hortícolas. v.8, n.1, p126-147.

Carvajal Rojas Guillermo Hernando, Abaunza González Carlos Alberto, Coronel Ortega Baltazar y Pinzón Perdomo Luz Mireya. 2000. Aspectos generales del cultivo de la papa y sus sistemas de producción en Colombia. En: CORPOICA. Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria, Bogotá (Colombia). Manejo integrado del cultivo de la papa: manual técnico. Bogotá, Corpoica. 193p. <http://hdl.handle.net/20.500.12324/34707; consulta: 07/03/2021>.

DANE. DEPARTAMENTO ADMINISTRATIVO NACIONAL DE ESTADÍSTICA. 2013. El cultivo de la papa, *Solanum tuberosum*: alimento de gran valor nutritivo, clave en la seguridad alimentaria mundial. DANE, SIPSA, Minagricultura. n.15, p1-7. https://www.dane.gov.co/files/investigaciones/agropecuario/sipsa/insumos_factores_de_produccion_sep_2013.pdf; consulta: 27/03/2021.

Devaux, A., Ordinola, M. y Fernández, J. 2014. El rol de la papa para la Seguridad Alimentaria y Nutricional en la región Andina. Centro Internacional de

- la Papa (CIP). En: Memorias del XXVI Congreso Asociación Latinoamericana de la Papa ALAP – Papa, alimento ayer hoy y siempre. 266p. www.papaslatinas.org/wp-content/uploads/2017/09/Memoria_ALAP-2014.pdf; consulta: 27/03/2021.
- FAO. ORGANIZACIÓN PARA LA AGRICULTURA Y LA ALIMENTACIÓN DE LAS NACIONES UNIDAS. 2021. FAOSTAT. <http://www.fao.org/faostat/es/#data/QC>; consulta: 17/02/2021.
- FEDEPAPA. FEDERACIÓN COLOMBIANA DE PRODUCTORES DE PAPA. 2004. Guía ambiental para el cultivo de la papa. Bogotá, Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo territorial. 55p. <https://redjusticiaambientalcolombia.files.wordpress.com/2012/09/guia-ambiental-para-el-cultivo-de-la-papa.pdf>; consulta: 27/03/2021.
- FAFP Y FEDEPAPA. 2018. Fondo Nacional del Fomento de la Papa. <https://fedepapa.com/wp-content/uploads/2017/01/1.-PLANEACION.-FNFP-D-PE-03-Plan-Estrategico.pdf>; consulta: 17/02/2021.
- FEDEPAPA. FEDERACIÓN COLOMBIANA DE PRODUCTORES DE PAPA. 2019. Mercado internacional: el buen clima es clave para la producción de papa en China. Boletín Econopapa. v.4., n.88, 2p. <https://fedepapa.com/wp-content/uploads/2020/01/BOLETIN-ECONOPAPA-No.-88.pdf> Consulta: 27/03/2021.
- Linares Yuraima & Gutiérrez Alejandro. 2001. El mercado mundial de la papa. Aldea Mundo (Venezuela). v.5, n.10, p59-69. <https://www.redalyc.org/pdf/543/54301008.pdf>; consulta: 27/03/2021.
- Márquez, Y., Salomón, J., Acosta, R. 2020. Análisis de la interacción genotipo ambiente en el cultivo de la papa (*Solanum tuberosum* L.). Revista Cultivos Tropicales. v.41, n.1-10, p14.
- MINAGRICULTURA. MINISTERIO DE AGRICULTURA DE COLOMBIA. 2010. Acuerdo de competitividad de la cadena Agroalimentaria de la papa en Colombia. 71p. <https://sioc.minagricultura.gov.co/DocumentosContexto/P008-NUEVO%20ACUERDO%20DE%20COMPETITIVIDAD%20PAPA.pdf>; consulta: 27/03/2021.
- MADR. MINISTERIO DE AGRICULTURA Y DESARROLLO RURAL. 2006. COLOMBIA. 2010. Observatorio Agrocadenas Colombia: Secretarías Técnicas de Cadena. Bogotá, MADR, Agrocadenas. 171p.
- Miranda, A.; Méndez, J. y Ing. Cifuentes, O. 2020. Informe final evaluación de cinco mezclas de harina de papa variedad loman (*Solanum tuberosum* l.) y trigo (*Triticum aestivum* l.), para elaboración de pan, en el municipio de san pedro sacatepéquez, del departamento de San Marcos. <http://cunori>.

edu.gt/descargas/Informe_Harina_de_papa_CRIA_ICTA_07102020_Quetzaltenango.pdf; consulta: 26/08/2021

Moreno Mendoza José Dílmer. 2000. Variedades de papa cultivadas en Colombia. Corporación colombiana de investigación agropecuaria – AGROSAVIA. p51-70. <http://hdl.handle.net/20.500.12324/1633>; consulta: 6/03/2021.

Rodríguez Luis Ernesto. 2010. Origen y evolución de la papa cultivada. Una revisión. *Agronomía Colombiana*. v.8, n.1, p9-17. www.scielo.org.co/pdf/agc/v28n1/v28n1a02.pdf; consulta: 6/03/2021.

Rodriguez, L., Ariza, W., Moreno, D., Guerrero, C., Moreno, L. 2020. Effect of water deficit on some physiological and biochemical responses of the yellow diploid potato (*Solanum tuberosum* L. Group Phureja). *Revista Agronomía Colombiana*. v.38, n.48. p49. doi: 10.15446/agron.colomb.v38n1.78982

Rosero, M.; Tapie, W., Rosero, D. 2020. Diversidad fenotípica de papas nativas en las comunidades indígenas de la etnia de los Pastos (Nariño, Colombia): Agricultura ecológica para la seguridad alimentaria y el desarrollo rural. *Revista peruana de biología*. v.27, n.4, p509-516.

SUPERINTENDENCIA DE INDUSTRIA Y TURISMO. 2019. Cadena productiva de la papa: diagnóstico de libre competencia. Superintendencia de Industria y Turismo. http://www.sic.gov.co/recursos_user/documentos/promocion_competencia/Estudios_Economicos/PAPA.pdf; consulta: 27/03/2021.

Torero Maximo. 2017. Global Approach, Perú and its Biodiversity. Abstract book 10Th WPC - XXVIII ALAP 2018 Congress. – Potato, Technology and Economic World Trends. Cusco, WPC-ALA 2018. 268p. http://repositorio.inia.gob.pe/bitstream/inia/807/1/INIA-Abstract_Book-ALAP_2018.pdf; consulta: 27/03/2021



Capítulo

2

Diversidad genética
de una población
de *Solanum tuberosum* L.
obtenida de semilla sexual

- **Carolina Martínez-Moncayo**¹
- **Danita Andrade-Díaz**²
- **Tulio César Lagos-Burbano**³

2.1 Resumen

La diversidad genética es uno de los indicadores biológicos más importantes para usar y conservar los recursos genéticos de las especies cultivadas, por lo tanto, el análisis de la diversidad genética permite estimar su magnitud y naturaleza. El objetivo de este capítulo fue caracterizar y determinar la diversidad genética a nivel molecular de 313 genotipos de *S. tuberosum* grupo Phureja y 35 de *S. tuberosum* del grupo Andígena, obtenidos a partir de semilla sexual de la colección de trabajo de la Universidad de Nariño. Se utilizaron siete marcadores RAMs, de los cuales, solo cuatro amplificaron en todos los genotipos. Tres fueron descarta-

-
1. Ing. Agrónomo, Ph.D. Grupo de Investigación en Producción de Frutales Andinos, Universidad de Nariño (UDENAR), Ciudadela Universitaria Torobajo, 520008, Pasto, Nariño; e-mail: cmartinezm@udenar.edu.co, <https://orcid.org/0000-0001-5336-1510>
 2. Ing. Agrónomo, candidata a Dr. Grupo de Investigación en Producción de Frutales Andinos, Universidad de Nariño (UDENAR), Ciudadela Universitaria Torobajo, 520008, Pasto, Nariño, e-mail: danitaan@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0001-7579-4739>
 3. Ing. Agrónomo, Ph.D. Universidad de Nariño, Facultad de Ciencias Agrícolas, Grupo de Investigación en Producción de Frutales Andinos GPFA. San Juan de Pasto, Nariño, Colombia, e-mail: tclagosb@udenar.edu.co, <https://orcid.org/0000-0001-9222-4674>

dos por su baja expresión en la gran mayoría de genotipos (CCA, CGA, GT). Para el análisis de conglomerados se utilizó el algoritmo UPGMA y el coeficiente de Nei. El grupo Phureja generó 180 loci 100% polimórficos, con un peso entre 125 y 1900 pb. El cebador más polimórfico fue CA con una heterosis insesgada (H_i) de 0,217. La diversidad genética promedio (h) fue de 0,186. En el grupo Andígena se obtuvieron 119 loci, de los cuales el 99,16% fueron polimórficos. Las bandas obtenidas oscilaron entre 125 y 1900 pb. El cebador más polimórfico fue CA con una H_i de 0,32 y una h de 0,288. El marcador CA fue altamente discriminatorio. En ambos grupos, no se detectaron duplicados. La diversidad observada en este trabajo fue moderada, por lo tanto, existe una buena fuente de variabilidad genética para ser usada en programas de selección o en planes de cruzamiento.

Palabras clave: RAMs, colección, caracterización, variabilidad, heterosis.

2.2 Abstract

Genetic diversity is one of the most important biological indicators to use and conserve the genetic resources of cultivated species; therefore, the analysis of genetic diversity allows estimating its magnitude and nature. The objective of this chapter was to characterize and determine the genetic diversity at the molecular level of 313 genotypes of *S. tuberosum* Phureja group and 35 of *S. tuberosum* of the Andígena group, obtained from sexual seed from the work collection of the University of Nariño. Of Seven RAMs markers, four amplified in all genotypes. The markers CCA, CGA and GT were discarded due to their low expression in the vast majority of genotypes. For the cluster analysis, the UPGMA algorithm and the Nei coefficient were used. The Phureja group generated 180 with 100% polymorphic loci weighing between 125 and 1900 bp. The most polymorphic primer was CA with an unbiased heterosis (H_i) of 0.217. The average genetic diversity (h) was 0.186. In the Andígena group, 119 loci were obtained, of which 99.16% were polymorphic. The bands obtained ranged between 125 and 1900 bp. The most polymorphic primer was CA with a H_i of 0.32 and an h of 0.288. CA marker was discrimina-

tory. No duplicates will be detected in both groups. The diversity observed in this work was moderate, so there is a good source of genetic variability for selection programs or in crossing plans.

Keywords: RAM, collection, characterization, variability, heterosis.

2.3 Introducción

En Colombia, la papa (*Solanum tuberosum* L.) es un producto agrícola importante debido su consumo masivo, especialmente en los estratos con menores ingresos. Su consumo per cápita, se encuentra alrededor de 71 kg/persona/año. La producción total disponible se destina básicamente al consumo en fresco entre un 80 a 92% y a la industria de 7 a 8% (Carvajal *et al.*, 2000; FAFP y Fedepapa, 2018).

S. tuberosum es una especie de importancia agrícola y comercial a nivel mundial y nacional. Es un alimento básico y una fuente de ingresos primarios para muchas sociedades (Ovchinnikova *et al.*, 2011). La papa silvestre, así como la cultivada (*Solanum* section *Petota*) crece desde el suroccidente de Estados Unidos hasta el sur de Chile (Rodríguez *et al.*, 2010). A diferencia de otros cultivos, la papa presenta un *pool* genético extremadamente grande, compuesto por especies silvestres y cultivadas, donde la alta variabilidad de caracteres de las especies silvestres incluye tolerancia y resistencia a estreses biótico y abiótico, que han permitido mejorar las variedades comerciales desde el punto de vista nutricional, agronómico, industrial y farmacéutico (Soto *et al.*, 2014).

Es necesario conocer las características morfológicas, bioquímicas y moleculares de las especies silvestres y cultivadas para promocionar su uso y prevenir su erosión genética (Casas y Velásquez Milla, 2016). *S. tuberosum* consta de dos grupos: el grupo Chilonatum que comprende cultivares tetraploides de zonas bajas de Chile y el grupo Andígena que comprende genotipos de los Andes, las cuales varían en el nivel de plodía desde diploides hasta hexaploides (Spooner *et al.*, 2008). Dentro del grupo Andígena se encuentran las formas autotetraploides ($2n = 4x = 48$) del grupo Andígena y las diploides ($2n = 2x = 24$) del grupo Pureja (Spooner *et al.*, 2007; Huamán y Spooner, 2002; Ghislain *et al.*, 2006).

El género *Solanum* tiene más de 300 especies que forman tubérculos, entre especies cultivadas y silvestres e incluye alrededor de 2400 especies alrededor del mundo (Citado por (Soto *et al.*, 2014). La papa cultivada, *Solanum tuberosum*, tiene alrededor de 190 especies silvestres parientes que forman tubérculos, conformando un grupo filogenético bien definido denominado *Solanum* sect. *Petota* (Spooner y Salas, 2006). Las especies silvestres, por su contenido genético, son de gran importancia para la reproducción de genotipos resistentes a factores bióticos/abióticos y heteróticos. Una mejor comprensión genómica aclararía las perspectivas de introgresión de genes extraños en la mejora genética de la papa (Spooner *et al.*, 2008).

En Colombia, una parte de la diversidad de recursos genéticos de papa correspondiente a 2069 accesiones, se mantiene en el Banco de Germoplasma de Papa ubicado en Tibaitatá (Cundinamarca) en la Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (AGROSAVIA); aquí, un subconjunto de papas (826 accesiones) conocido como Colección Central de Colombia (CCC), es reconocido como uno de los germoplasma de papa más diverso del mundo, después de la colección del CIP (Centro Internacional de la Papa) que cuenta con más de 6000 accesiones que incluye especies cultivadas y parientes silvestres de la papa (Janky *et al.*, 2015). En Colombia, la Universidad Nacional, también conserva una colección de papa Phureja (Colección Núcleo Colombiana-CCC), que junto a la CCC-AGROSAVIA, son una fuente potencial de nuevos alelos de valor agronómico que contribuirían a generar nuevos cultivares con potencial agronómico (Berdugo *et al.*, 2017). A nivel regional, la Universidad de Nariño, cuenta con una colección de trabajo de papa con aproximadamente 450 accesiones diploides y tetraploides de diferentes lugares de Colombia, principalmente de origen nariñense y un grupo de 56 accesiones introgresadas desde el CIP, que servirán como fuente de variabilidad genética en la implementación de programas de mejoramiento genético. En este sentido, el uso apropiado de los recursos genéticos conservados, depende de la comprensión de su diversidad genética y fenotípica. Sin embargo la diversidad genética analizada a partir de datos de rasgos agronómicos, no siempre genera resultados sólidos porque

el medio ambiente a menudo afecta los rasgos fenotípicos (Ammar *et al.*, 20015). Por lo anterior, las herramientas moleculares que se han desarrollado en los últimos tiempos permiten caracterizar el acervo genético a nivel molecular, sin interrupciones de carácter ambiental. Dentro de las técnicas desarrolladas, que han permitido estudiar la diversidad genética de la papa y de otras especies a través de diferentes marcadores moleculares están: ADN polimórfico amplificado aleatoriamente (RAPD), polimorfismo de longitud de fragmentos amplificados (AFLP), repeticiones de secuencia inter simple (ISSR), repetición de secuencia simple (SSR), polimorfismo de nucleótido único (SNPs) (Spooner *et al.*, 2007; Ghislain *et al.* 2007; McGregor *et al.*, 2000; Berdugo *et al.*, 2017). Hasta el momento, no se han reportado estudios de diversidad genética de una colección de trabajo obtenida a partir de semilla sexual.

La caracterización a nivel molecular de una población o de una colección de trabajo o de una muestra de las accesiones de un banco de germoplasma permite medir su diversidad genética, eliminar duplicados, identificar relaciones genéticas entre diferentes cultivares de distinto origen y obtener mayor conocimiento genético de los individuos de la población o muestra, lo cual es importante para tomar decisiones acerca de su conservación y uso (Badr *et al.*, 2006; Navarro *et al.*, 2010; Almeida *et al.*, 2010; Sanchez, 2017). En el caso de mejoramiento genético de la papa, es difícil mejorar características de interés a nivel tetraploide debido a la herencia tetrasómica, lo cual es una alternativa prometedora para el mejoramiento de los diploides, por lo tanto, es necesario evaluar la diversidad genética del germoplasma para la exploración e identificación de caracteres deseables (Song *et al.*, 2016).

Zietkiewicz *et al.* (1994) propusieron la técnica conocida como microsatélites amplificados aleatoriamente (RAM) basada en la reacción en cadena de la polimerasa (PCR) para medir la diversidad genética en plantas y animales. Esta técnica molecular combina los análisis de microsatélites con el análisis RAPD (Random Amplified Polymorphic DNA) y el uso de cebadores que contienen secuencias microsatélites y un extremo 5' degenerado. El método es reproducible y permite la detección de polimorfismo entre especies y dentro de ellas. Los marcadores RAMs se pueden

usar para estudios de poblaciones y no requiere el conocimiento previo de secuencias ni el uso de isótopos radioactivos. La fuente de variabilidad en los fragmentos obtenidos puede deberse a una inserción o supresión entre el fragmento amplificado que podría originar un amplio polimorfismo o ausencia de un producto, también la variabilidad en el número de repeticiones del microsatélite puede determinar el nivel de polimorfismo (Hantula *et al.*, 1996).

La técnica RAMs es una herramienta eficiente para estudiar la diversidad genética de especies vegetales y animales, dado que no necesita información previa, es reproducible, sencilla y de bajo costo. Se puede obtener gran número de bandas con geles de alta resolución, de ahí que se pueden identificar las relaciones entre características biológicas y los grupos genéticos formados al interior de especies, entre especies y entre familias (Morillo *et al.*, 2005; Oslinger *et al.*, 2006; Muñoz *et al.*, 2008; Cadima *et al.*, 2017).

Mediante marcadores microsatélites, se ha evaluado ampliamente la diversidad genética de la papa a nivel mundial, nacional y regional, encontrado resultados altamente contrastantes. Pérez (2004) reportó una heterosis promedio (HP) encontrada en 249 accesiones de *S. tuberosum* grupo Andígena al sur de Chile con marcadores microsatélites, la cual fue de 0,81, la cual es muy alta y muy contrastante con la encontrada por Navarro *et al.* (2010) en trabajos sobre caracterización morfoagronómica y molecular de 19 genotipos de papa guata (*Solanum tuberosum* L.) y chaucha (*Solanum phureja* Juz et Buk) cultivados en el departamento de Nariño, con una diversidad promedio de 0,23 en 80 loci, la cual es moderada teniendo en cuenta la baja cantidad de individuos analizados. Por otro lado, Montalvo (2019) reportó una HP alta de entre 0,72-0,77 en una población de 425 accesiones de papa en Huancavelica Perú en un estudio realizado con 12 marcadores microsatélites. Los resultados de estos autores, indican que los marcadores moleculares son una herramienta útil y confiable para llevar a cabo estudios de diversidad genética, bien sea con fines de conservación, clasificación o selección de genotipos candidatos para el mejoramiento genético.

El objetivo de este capítulo fue caracterizar y determinar la diversidad genética mediante marcadores RAMs (microsatélites amplificados aleatoriamente) 313 genotipos de *S. tuberosum* grupo Phureja y 35 de *S. tuberosum* del grupo Andígena, obtenidos a partir de semilla sexual de la colección de trabajo de la Universidad de Nariño, con miras a clasificar y agrupar las accesiones de la colección en relación a sus distancias genéticas, lo cual permitirá establecer criterios de selección de acuerdo con su variabilidad, y cruzamientos entre accesiones distantes genéticamente y sistematizar información de cada accesión para su conservación o eliminación de la colección de trabajo.

2.4 Materiales y métodos

Localización. Este trabajo investigativo para desarrollar este capítulo se llevó a cabo en dos fases. En la primera se realizó la cosecha de frutos maduros de la colección de papa de la Universidad de Nariño, establecida en campo en las instalaciones de la Granja Experimental de Botana localizada en el Altiplano de Pasto (Nariño) a 2.820 msnm, 01°09'12"LN y 77°18'31"LO, con temperatura promedio de 13°C, 970 horas sol/año, precipitación pluvial promedio de 803 mm/año y humedad relativa del 82%. La segunda fase correspondió a la siembra *in vitro* de la semilla sexual obtenida de los frutos y el posterior análisis molecular en los laboratorios de cultivo de tejidos y biología molecular del Grupo de Investigación en Producción de Frutales Andinos de la Universidad de Nariño, ubicados en la Ciudad Universitaria Torobajo del municipio de Pasto a una altitud de 2540 msnm, 01°12'13"LN y 77°15'23"LO.

Material vegetal. En la Tabla 2.1 aparece la georreferenciación de los genotipos de papa que sirvieron de progenitores de las plantas que se analizan en este trabajo. Todos los genotipos fueron colectados o donados por los agricultores de los municipios de Pasto y Cumbal del departamento de Nariño, los cuales se seleccionaron por sus diferencias morfológicas como altura de planta, color de flor, color y forma de tubérculo, color de chimbalo.

Tabla 2.1. Georreferenciación de genotipos progenitores de la colección de papa obtenida por vía sexual.

Genotipo	M	Vereda	LN	LO	msnm
UdenarStGua01-1	Pasto	Jurado	1°05'47,4"	77°16'12.53"	2806
UdenarStGua01-2	Pasto	Jurado	1°05'47,4"	77°16'12.53"	2806
UdenarStGua01-3	Pasto	Jurado	1°05'47,4"	77°16'12.53"	2806
UdenarStGua02-1	Pasto	Jurado	1°05'47,4"	77°16'12.53"	2806
UdenarStGua02-2	Pasto	Jurado	1°05'47,4"	77°16'12.53"	2806
UdenarStGua02-3	Pasto	Jurado	1°05'47,4"	77°16'12.53"	2806
UdenarStGua03-1	Pasto	Jurado	1°05'47,4"	77°16'12.53"	2806
UdenarStGua03-2	Pasto	Jurado	1°05'47,4"	77°16'12.53"	2806
UdenarStGua03-3	Pasto	Jurado	1°05'47,4"	77°16'12.53"	2806
UdenarStGua03-4	Pasto	Jurado	1°05'47,4"	77°16'12.53"	2806
UdenarStGua03-5	Pasto	Jurado	1°05'47,4"	77°16'12.53"	2806
UdenarStGua04-1	Pasto	Jurado	1°05'47,4"	77°16'12.53"	2806
UdenarStGua05-1	Pasto	Jurado	1°05'47,4"	77°16'12.53"	2806
UdenarStGua06-1	Pasto	Jurado	1°05'47,4"	77°16'12.53"	2806
UdenarStGua07	Cumbal	Puerta Vieja	0°55'50,4"	77°50'17.53"	3437
UdenarStGua07-1	Cumbal	Puerta Vieja	0°55'50,4"	77°50'17.53"	3437
UdenarStGua07-2	Cumbal	Puerta Vieja	0°55'50,4"	77°50'17.53"	3437
UdenarStGua07-3	Cumbal	Puerta Vieja	0°55'50,4"	77°50'17.53"	3437
UdenarStGua07-4	Cumbal	Puerta Vieja	0°55'50,4"	77°50'17.53"	3437
UdenarStGua07-5	Cumbal	Puerta Vieja	0°55'50,4"	77°50'17.53"	3437
UdenarStGua07-6	Cumbal	Puerta Vieja	0°55'50,4"	77°50'17.53"	3437
UdenarStGua07-7	Cumbal	Puerta Vieja	0°55'50,4"	77°50'17.53"	3437
UdenarStGua07-8	Cumbal	Puerta Vieja	0°55'50,4"	77°50'17.53"	3437

Genotipo	M	Vereda	LN	LO	msnm
UdenarStGua07-9	Cumbal	Puerta Vieja	0°55'50,4"	77°50'17.53"	3437
UdenarStGua07-10	Cumbal	Puerta Vieja	0°55'50,4"	77°50'17.53"	3437
UdenarStCr28	Cumbal	Panam	0°56'14,28"	77°46'56,75"	3090
UdenarStCr34	Cumbal	Panam	0°56'14,28"	77°46'56,75"	3090
UdenarStCr30	Cumbal	Panam	0°56'14,28"	77°46'56,75"	3090
UdenarStCr04	Pasto	Obonuco	1°12'52.48"	77°16'41.22"	2712
UdenarStCr10	Pasto	Obonuco	1°12'52.48"	77°16'41.22"	2718
UdenarStCr11	Pasto	Obonuco	1°12'52.48"	77°16'41.22"	2719
UdenarStCr13	Pasto	Obonuco	1°12'52.48"	77°16'41.22"	2721
UdenarStCr14	Pasto	Obonuco	1°12'52.48"	77°16'41.22"	2722
UdenarStCr16	Pasto	Obonuco	1°12'52.48"	77°16'41.22"	2724
UdenarStCr19	Pasto	Obonuco	1°12'52.48"	77°16'41.22"	2730
UdenarStCr80-1	Pasto	Jurado	1°05'47,4"	77°16'12.53"	2807
UdenarStCr81-1	Pasto	Jurado	1°05'47,4"	77°16'12.53"	2808
UdenarStCr17	Pasto	Obonuco	1°12'52.48"	77°16'41.22"	2727
UdenarStCr06	Pasto	Obonuco	1°12'52.48"	77°16'41.22"	2714
UdenarStCr08	Pasto	Obonuco	1°12'52.48"	77°16'41.22"	2716
UdenarStCr09	Pasto	Obonuco	1°12'52.48"	77°16'41.22"	2717
UdenarStCr12	Pasto	Obonuco	1°12'52.48"	77°16'41.22"	2720
UdenarStCr13	Pasto	Obonuco	1°12'52.48"	77°16'41.22"	2721
UdenarStCr84-1	Pasto	Jurado	1°05'47,4"	77°16'12.53"	2808
UdenarStCr86-1	Pasto	Jurado	1°05'47,4"	77°16'12.53"	2815
UdenarStCr87-1	Pasto	Jurado	1°05'47,4"	77°16'12.53"	2813
UdenarStCr88-1	Pasto	Jurado	1°05'47,4"	77°16'12.53"	2819
UdenarStCr95-1	Pasto	Jurado	1°05'47,4"	77°16'12.53"	2833
UdenarStCr98-1	Pasto	Jurado	1°05'47,4"	77°16'12.53"	2846
UdenarStCr99-1	Pasto	Jurado	1°05'47,4"	77°16'12.53"	2847
UdenarStCr16.5	SI	SI	SI	SI	SI

M = municipio, LN = latitud norte, LO = longitud oeste, asnm = altura sobre el nivel del mar (altitud).

De cada genotipo se tomaron cinco plantas y de cada planta cinco frutos. Las plantas provenientes de un fruto fueron consideradas una familia, de las cuales se sembró la totalidad de la semilla en frascos de vidrio que contenían medio de cultivo MS (Murashige & Skoog, 1962), suplementado con AG_3 (0,5mg/l) y sacarosa al 3%. Se empleó como medio solidificante agar (7g/l) a un pH de 5,8. Los frascos con la semilla se incubaron en cámara de crecimiento con una temperatura de 22°C y un fotoperíodo 12h-luz/día. De las semillas que germinaron, se tomaron 20 plántulas, y se micropropagaron mediante explantes de tallo de aproximadamente 2 cm de largo, los cuales se sembraron en medio MS, donde se mantuvieron hasta alcanzar una altura de 6 cm (Zurita-Valencia *et al.*, 2014).

Extracción de ADN. De cada familia se tomaron 100mg de tejido proveniente de tallo y hojas de las plántulas *in vitro*. Este tejido se sometió a la extracción de ADN según la metodología de Dellaporta *et al.* (1983). El tejido vegetal fue macerado utilizando viales de 1.5 ml y pistilos plásticos estériles, los cuales fueron sumergidos en nitrógeno líquido hasta obtener un polvo fino y seco. Para evaluar la calidad del ADN se utilizaron geles de agarosa al 1% teñidos con bromuro de etidio (0,5ng/ml) (Palacio-Mejía, 2005; Posso *et al.*, 2011). La concentración de ADN de cada una de las muestras se obtuvo mediante el espectrofotómetro NanoDrop 2000 Thermo Scientific, USA. Luego, el ADN se diluyó con agua estéril tipo HPCL hasta 10ng/ μ l, y se almacenó a -20°C. A través de electroforesis horizontal, se verificó la calidad del ADN con base en la nitidez de la banda formada sin presencia de barridos que indican degradación o contaminación del ADN. La electroforesis horizontal se realizó con el equipo Enduro Power Supplies a una carga de 90 voltios durante 30 minutos con un medio tampón TBE 0,5X (Tris-borato y EDTA).

Cebadores utilizados. Se utilizaron siete marcadores RAMs sintetizados por Gentech Col., (Tabla 2.2), los cuales han sido útiles en evaluaciones de la diversidad genética de especies como uchuva *Physallis peruviana* (Morillo *et al.*, 2011, Morillo Coronado *et al.*, 2018), guayaba *Psidium* sp. (Sanabria *et al.*, 2006), Nacedero

Trichanthera gigantea (Posso *et al.*, 2011), en especies de mora *Rubus spp.* (Morillo *et al.*, 2005), Yacon *Smallanthus sonchifolius* (Polanco, 2011), entre otros.

Condiciones de amplificación. La reacción de amplificación de los marcadores RAMs mediante PCR se llevó a cabo con 10ng de ADN genómico en un volumen final de reacción de 25ml y una concentración de 0,5µM de cada cebador, 0,2mM de dNTPs, 1X de PCR buffer-Mg, 1,5mM de cloruro de magnesio (MgCl₂) y 2U/rxn de Taq polimerasa Life Technologies, USA.

Los programas de PCR se establecieron con una desnaturalización inicial de 94°C durante 5 min y 37 ciclos de desnaturalización a 95°C por 30 segundos. La temperatura de alineamiento se estableció para cada uno de los cebadores, así: 50°C (Cebador AG), 41°C (Cebadores CA y CT) y 55°C (Cebador TG) y durante 45 segundos (Muñoz *et al.*, 2008). La extensión a 72°C por dos minutos y la extensión final a 72°C durante siete minutos. En cada amplificación se incluyó un control negativo para detectar posible contaminación.

Tabla 2.2. Marcadores RAMs que amplificaron en la caracterización de 313 genotipos de *Solanum tuberosum* grupo Phureja y 35 genotipos del grupo Andígena.

<i>Cebador</i>	<i>Secuencia</i>
AG	HBHAGAGAGAGAGAGAGA = HBH (AG) ₇ ^a
CA	DBDACACACACACACACA = DBDA(CA) ₇
CT	DYDCTCTCTCTCTCTCTC = DYD (CT) ₇ C
TG	HVHTGTGTGTGTGTGTGT = HVH(TG) ₇ T
Designaciones para sitios degenerados:	
H (A ó T ó C)	B (G ó T ó C)
V (G ó A ó C)	D (G ó A ó T)

Para la amplificación se utilizó un termociclador Multigene™ OptiMax (Labnet, USA). Los productos amplificados fueron separados por electroforesis vertical en geles de poliacrilamida

al (12%) y se visualizaron las bandas con el uso de bromuro de etidio (0,5ng/ml). El marcador de peso molecular utilizado fue el GeneRuler 50 bp DNA Ladder.

Análisis de la Información. La lectura de bandas se realizó directamente sobre los geles, utilizando un trans iluminador DyNA Light UV, Labnet (USA). Se construyó una matriz binaria de ausencia (cero) y presencia (uno) de bandas. Se determinó el número de alelos polimórficos, la heterocigosidad observada, la heterocigosidad esperada y el número de alelos por cebador. Para el análisis se utilizó el software TFPGA (Tools for Population Genetic Analysis) (Miller, 1997).

En el análisis, se tuvo en cuenta la diversidad alélica (o multiplicidad alélica) de un locus, como parámetro de variabilidad genética, lo que hace referencia al número de alelos que aparecen en un locus. Es decir, la medida de la diversidad alélica promedia multilocus, es el número promedio de alelos por locus, considerando loci monomórfico como polimórfico. El número efectivo de alelos por locus (A_e) está dado por el recíproco de la suma de cuadrados de las frecuencias alélicas ($A_e = 1/\sum p_i^2$, $1 \leq A_e < \infty$) y es una medida del número de alelos y de uniformidad de frecuencias alélicas en un locus. Más precisamente, mide la uniformidad del alelo más común, porque los alelos raros contribuyen poco a la sumatoria (Berg y Hamrick, 1997).

Las estimaciones de similitud se calcularon con el método de Nei (1978) y el análisis clúster y la construcción del dendrograma se realizó por el método UPGMA (Unweighted Pair Group Method with Arithmetic Mean) (Hart, 1983).

2.5 Resultados y Discusión

La visualización de las bandas obtenidas mediante la amplificación con cebadores RAMs, mostró que solo cuatro de los siete marcadores amplificaron en todos los genotipos, los cuales son CT, TG, CA, AG, los cuales se incluyeron en el análisis de la información. En el grupo Phureja, se obtuvo un total de 56.340 registros, de los cuales el 18,1% corresponde a presencia y el 81,9% a ausencia

de bandas. Se encontraron 180 loci 100% polimórficos con peso entre 125 a 1900 pb. El número de loci polimórficos osciló entre 39 para CT y 51 para TG. En el grupo Andígena, se generaron 4.165 registros con 32,25% de presencias y 6,75% de ausencias de bandas. Se encontraron 119 loci, de los cuales el 98,96% fueron de carácter polimórficos con bandas entre 125 y 1900 pb. El número de loci polimórficos por cebador varió entre 24 para CT y 38 para TG (Tabla 2.3). Respecto a la heterosis insesgada (H_i), los cebadores más polimórficos fueron CA y AG en los dos grupos, lo cual significa que estos dos marcadores pueden ser útiles para discriminar genotipos, tal como lo plantean Morillo *et al.* (2011).

En el grupo Phureja no se observó la presencia de loci monomórficos; mientras que, en Andígena, solo el marcador CT mostró un 4,17% de loci monomórficos. Esto quiere decir, que a nivel molecular existen diferencias en las secuencias de ADN, por lo cual, estos marcadores son potenciales discriminantes para los dos grupos de *Solanum tuberosum*, dado que pueden estar relacionados con procesos de evolutivos de la especie, cruzamientos naturales y dirigidos en la misma, como lo afirman Cardone *et al.* (2010), Lagos Burbano y Benavides (2014), quienes indican que la naturaleza alogama de la especie contribuye a su diversidad genética. Estos marcadores son adecuados para estudios de diversidad genética, porque brindan soporte y confianza a los resultados y conclusiones obtenidas a partir del análisis de datos (Posso *et al.*, 2011).

La H_i estima la probabilidad de que dos alelos extraídos al azar del conjunto de genes de una población sean diferentes y es un estimador de diversidad genética (Rugeles *et al.*, 2012). Como puede observarse, todos los cebadores empleados muestran valores moderados a altos de H_i , los cuales fluctúan entre 0,136 a 0,217 para el grupo Phureja y de 0,263 a 0,322 para Andígena (Tabla 2.3). Estos resultados indican que existe una buena diversidad genética en los dos grupos, la cual puede ser aprovechada en programas de mejoramiento genético y concuerdan con los valores reportados por Berdugo *et al.* (2017) quienes analizaron la diversidad genética de dos poblaciones de papa en Colombia

mediante SNPs, donde obtuvieron una H_i de 0,167 para Phurejas y 0,337 para Andígena, mayor en el caso de Phureja y levemente menor en el caso de Andígenas con respecto a lo encontrado en este estudio.

Tabla 2.3. Número y porcentaje de loci polimórficos (LP), número alelos (Na) y alelos efectivos (Ne), índice de información de Shannon (IS), heterosis promedia (HP) y heterosis promedia insesgada (H_i) obtenidos con cuatro marcadores RAMs en *Solanum tuberosum* grupos Phureja y Andígena.

Phureja							
RAMs	LP	%LP	Na	Ne	IS	HP	H_i
AG	43	100	2,000	1,319	0,336	0,206	0,207
CA	48	100	2,000	1,347	0,345	0,217	0,217
CT	39	100	2,000	1,306	0,312	0,193	0,193
TG	51	100	2,000	1,198	0,234	0,135	0,136
Promedio	45,75	100	2,000	1,292	0,307	0,188	0,188
DE			0,000	0,023	0,016	0,012	0,012
Andígena							
RAMs	LP	%LP	Na	Ne	IS	HP	H_i
AG	28	100	2,000	1,501	0,463	0,302	0,311
CA	29	100	2,000	1,527	0,476	0,312	0,322
CT	24	95,83	1,958	1,410	0,396	0,253	0,260
TG	38	100	2,000	1,451	0,441	0,282	0,290
Promedio	29,75	98,96	1,990	1,472	0,444	0,287	0,296
DE			0,008	0,030	0,018	0,014	0,014

DE = desviación estándar.

La diversidad genética promedio observada (HP) fue de 0,19 en Phureja y de 0,29 en Andígena, la cual es baja si se compara con los valores encontrados por Pérez (2004) en *S. tuberosum* grupo Andígena en el sur de Chile, donde la HP fue de 0,81; sin embargo, son similares a los encontrados por Navarro *et al.* (2010) en papa guata y chaucha cultivados en el departamento de Nariño, con una diversidad promedio de 0,23 en 80 loci, de los cuales, el 75% fueron polimórficos con una H_i mínima de 0,13 para el primer GT y máxima de 0,31 para CA. Estos resultados sugieren que la técnica utilizada en este trabajo, es útil y adecuada para

medir la diversidad genética de la colección de trabajo de papa obtenida mediante semilla sexual. La diversidad genética definida en estas poblaciones, permite tener suficiente materia prima para las actividades de selección o cruzamiento en programas de mejoramiento genético.

Cadima *et al.* (2017) afirman que un mayor número de alelos encontrados en una especie, dependiendo de la técnica utilizada, tiene relación con el mayor número de accesiones o genotipos analizados. Cuanto mas grande es la población, se aumenta la probabilidad de encontrar nuevos alelos con frecuencias bajas. No obstante, en esta investigación, el valor promedio de N_e para los 180 loci analizados para el grupo Phureja fue de 1,29 con un mínimo de 1,2 y un máximo de 1,35 y en Andígena de 1,47 con un mínimo de 1,41 y un máximo de 1,53 para los 119 loci analizados. Estos valores son bajos respecto a los reportados por Montalvo (2019), quien encontró que el N_e por comunidades de Huancavelica (Perú) varió ligeramente, entre 4,14 y $4,72 \pm 0,58$; mientras que, entre SSR, fueron de 2.52 a $8 \pm 5,48$, los cuales estuvieron asociados a una HP supremamente alta (0,72-0,77). Adicionalmente, en un análisis de la riqueza alélica realizados en 30 accesiones de papa nativa del banco de germoplasma de Agrosavia (Colombia), se encontraron 33 alelos con cinco marcadores microsatélites (SSRs), con una variación de 2 alelos por locus (Sánchez, 2017).

En la Figura 2.2, se muestra cómo se agruparon los 313 genotipos del grupo Phureja y los 35 de Andígena. La población de Phureja se separó en seis grupos, en cambio en el grupo Andígena se observan cinco grupos plenamente identificados y un individuo que no se ubicó en ninguno de éstos. La agrupación obtenida estuvo conformada por genotipos que, aunque provienen de lugares muy diferentes, se agruparon como materiales con secuencias similares para la porción de genoma explorada a través de los primeros análisis, caso contrario a lo reportado por Ponce *et al.* (2013) quienes señalan que al evaluar el agrupamiento desde el punto de vista regional, existe una tendencia moderada de agrupamiento de acuerdo a la región geográfica.

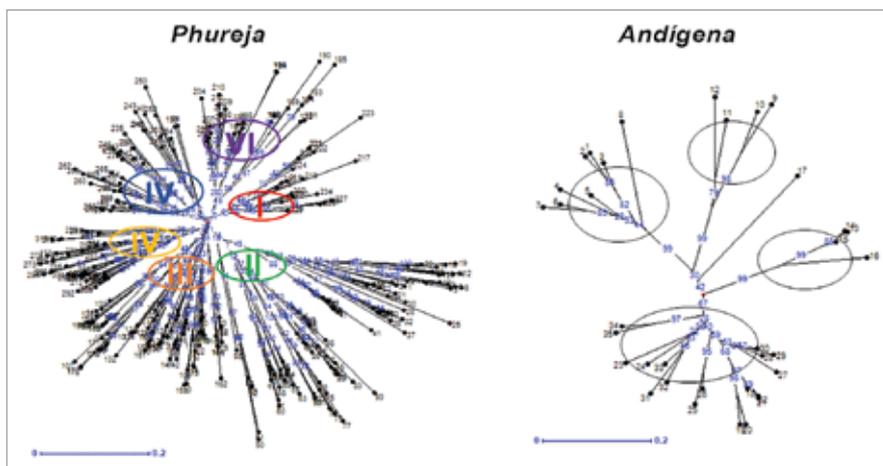


Figura 2.2. Dendrograma del agrupamiento UPGMA para 313 genotipos de *Solanum tuberosum* grupo Phureja y 35 del Andígena.

El número efectivo de alelos (N_a) con un promedio por locus de 1,99 para el total de la población evaluada tanto para el grupo Phureja como para Andígena (Tabla 2.3) y valores promedio de heterosis promedio insesgada (H_i) de 0,188 para Phureja y de 0,296 para Andígena, reflejan una variabilidad aceptable de diversidad genética entre los grupos, dentro de los cuales existe una alta similitud que redundará en una baja variabilidad genética, por lo tanto, será necesario ampliar el análisis a este nivel, con otro tipo de marcadores como los SSRs (Ellis & Burke, 2007) para establecer su magnitud y eliminar posibles duplicados.

2.6 Conclusiones

La heterocigosidad promedio e insesgada producida por los marcadores RAM's en los grupos Phureja y Andígena fueron moderadamente altas. Esto permitió clasificar a las colecciones de los dos taxones en grupos claramente diferenciables. Se detectó una alta variabilidad genética entre las introducciones estudiadas y en ningún caso, se observaron duplicados. Se tiene una base genética adecuada para ser aprovechada en un programa de mejoramiento genético. Los datos generados en esta investigación, son altamente valiosos para la conservación y uso de la colección de trabajo de papa de la Universidad de Nariño.

2.7 Bibliografía del Capítulo 2

- Almeida Rocha Elizângela, Paiva Luciano Vilela, Carvalho Humberto Henrique de, Teixeira Guimarães Claudia. 2010. Molecular characterization and genetic diversity of potato cultivars using SSR and RAPD markers. *Crop Breeding and Applied Biotechnology*. v.10, n.3, p204-210. doi: 10.1590/S1984-70332010000300004
- Ammar, M.H, Alghamdi, S.S, Migdadi, H.M, Khan, M.A, El-Harty, E.H, Al-Faifi S.A. 2015. Assessment of genetic diversity among faba bean genotypes using agro-morphological and molecular markers. *Saudi J. Biol. Sci*. v.22, n.3, p340–350. doi: 10.1016/j.sjbs.2015.02.005 PMID: 25972757
- Badr, E.A., Riad, S.A., Heikal Hadia A., Aly, F.A. 2006. Molecular characterization of four potato cultivars (*Solanum tuberosum* L.) commercially grown in Egypt. *Pak. J. Biotechnol*. v.3, n.1-2, p33-43.
- Berdugo-Cely, J. Valbuena, R.I, Sánchez-Betancourt, E, Barrero, L.S, Yockteng, R. 2017. Genetic diversity and association mapping in the Colombian Central Collection of *Solanum tuberosum* L. Andigenum group using SNPs markers. *PLoS ONE*. v.12, n.3, e0173039. doi:10.1371/ journal.pone.0173039
- Berg, E.E. & Hamrick, J.L. 1997. Quantification of genetic diversity at allozyme loci. *Can. J. For. Res.* 27, p415-424.
- Cadima, X., Veramendi, S. y Angulo, A. 2017. Comparación de niveles de diversidad genética de papa entre centros de agrobiodiversidad y la Colección Nacional de Bolivia. *Revista Latinoamericana de papa*, v.21, n.1, p73-92.
- Cardone, S, Pérez, G, Picca, A. (2010). Polinización y fertilización in vitro. <https://www.crops.org/publications/cs/abstracts/37/6/CS0370061951>; consulta: 15/12/2020.
- Carvajal Rojas Guillermo Hernando, Abaunza González Carlos Alberto, Coronel Ortega Baltazar, Pinzón Perdomo Luz Mireya. 2000. Aspectos generales del cultivo de la papa y sus sistemas de producción en Colombia. En: CORPOICA. Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria, Bogotá (Colombia). Manejo integrado del cultivo de la papa: manual técnico. Bogotá, Corpoica. 193p. <http://hdl.handle.net/20.500.12324/34707>; consulta: 07/03/2021.
- Casas Alejandro & Velásquez Milla Dora. 2016. Capítulo 3: Erosión genética. En: Casas Alejandro, Torres Guevara Juan, y Parra Fabiola (Editores). Domesticación en el continente americano: Manejo de biodiversidad y evolución dirigida por las culturas del Nuevo Mundo. Vol. 1. pp75-95.

https://www.researchgate.net/publication/309772436_Erosion_genetica/link/58230c1d08aeebc4f8983679/download; consulta: 14/03/2021.

- Dellaporta Stephen L., Wood Jonathan, Hicks James B. 1983. A plant DNA miniprep: Version II. *Plant Molecular Biology Reporter*. v.1, n.4, p19-21. doi: 10.1007/bf02712670
- Ellis, J.R. & Burke J.M. 2007. EST-SSRs as a resource for population genetic analyses. *Heredity*. v.99, p125-132. doi: <https://doi.org/10.1038/sj.hdy.6801001>
- Ghislain, M., Andrade, D., Rodríguez, F., Hijmans, R.J., Spooner, D.M. 2006. Genetic analysis of the cultivated potato *Solanum tuberosum* L. Phureja Group using RAPDs and nuclear SSRs. *Theor. Appl. Genet.* v.113, n.8, p1515-1527. doi: 10.1007/s00122-006-0399-7
- Hantula, J., Dusabenyagasani, M., Hamelin, R.C. 1996. Random amplified microsatellites (RAMS)-a novel method for characterizing genetic variation within fungi. *Forest Pathology*. v.26, n.3, p159-166. doi: 10.1111/j.1439-0329.1996.tb00720.x
- Hart Gene. 1983. The Occurrence of Multiple UPGMA Phenograms. *Numerical Taxonomy*, p254-258. doi:10.1007/978-3-642-69024-2_30
- Hijmans Robert J., Guarino Luigi, Mathur Prem. 2012. DIVA-GIS Version 7.5: Manual. LizardTech, Inc., and/or the University of California. https://un-spider.org/sites/default/files/DIVA-GIS_manual_7.pdf; consulta: 16/03/2021.
- Huamán Zósimo & Spooner David M. 2002. Reclassification of landrace populations of cultivated potatoes (*Solanum* sect. *Petota*). *Am. J. Bot.* v.89, n.6, p947-965. doi: 10.3732/ajb.89.6.947
- Jansky SH, Dawson J, Spooner DM. 2015. How do we address the disconnect between genetic and morphological diversity in germplasm collections? *Am. J. Bot.* v.102, n.8, p1213-1215. doi: 10.3732/ajb.1500203 PMID: 26290545
- Lagos Burbano Tulio César & Benavides Arteaga Karen Evelin. 2014. Biología reproductiva del Balso blanco (*Heliocarpus americanus* L.). *Bol. Cient. Mus. Hist. Nnat.* v.18, n.2, p28-44. <http://www.scielo.org.co/pdf/bccm/v18n2/v18n2a03.pdf>; consulta: 15/12/2020.
- Miller Mark P. 1997. Tools for Population Genetic Analyses (TFPGA) version 1.3: A Windows® program for the analysis of allozyme and molecular population genetic data. Arizona, Department of Biological Sciences,

- Northern Arizona University. 33p. <https://www.ccg.unam.mx/~vinuesa/tlem09/docs/TFPGADOC.PDF>; consulta:16/03/2021.
- Montalvo Otivo Jorge Manuel. 2019. Diversidad genética de papa nativa cultivada (*Solanum* sp.) de cuatro comunidades de Huancavelica – Perú. Tesis Maestría Mejoramiento genético de Plantas. Lima, Universidad Nacional Agraria La Molina. 93p. <http://repositorio.lamolina.edu.pe/bitstream/handle/UNALM/3813/montalvo-otivo-jorge-manuel.pdf?sequence=1&isAllowed=y>; consulta: 20/03/2021.
- Morillo, Y., Morillo, A., Muñoz, J. Vásquez, H., Zamorano, A. 2005. Caracterización molecular con microsatélites aleatorios RAMs de la colección de mora (*Rubus* spp.) de la Universidad Nacional de Colombia sede Palmira. Acta Agronómica. v.54, n.2, p15-24.
- Morillo Coronado Ana Cruz, González Castillo José Alejandro, Morillo Coronado Yacenia. 2018. Caracterización de la diversidad genética de uchuva (*Physalis peruviana* L.) en Boyacá. Biotecnología en el Sector Agropecuario y Agroindustrial. v.16, n.1, p26-33.
- Morillo Paz Anjuly Tatiana, Villota Cerón Diana Elizabeth, Lagos Burbano Tulio César, Ordóñez Jurado Héctor Ramiro. 2011. Caracterización Morfológica y Molecular de 18 Introducciones de Uchuva *Physalis peruviana* L. de la Colección de la Universidad de Nariño. Rev. Fac. Nal. Agr. Medellín. v.64, n.2, p6043-6053.
- Muñoz, J.E., Morillo, A., Morillo, Y. 2008. Microsatélites amplificados al azar (RAM) en estudios de diversidad genética vegetal. Acta Agronómica (Colombia). v.57, n.4, p219-226.
- Murashige Toshio & Skoog Folke. 1962. A revised medium for rapid growth and bio assays with tobacco tissue cultures. Physiologia Plantarum. v.15, n.3, p473-497. doi: <https://doi.org/10.1111/j.1399-3054.1962.tb08052.x>
- Navarro Claudia, Bolaños Luis Carlos, Lagos Burbano Tulio César. 2010. Caracterización morfoagronómica y molecular de 19 genotipos de papa guata y chaucha (*Solanum tuberosum* L. y *Solanum phureja* Juz et. Buk.) cultivados en el departamento de Nariño. Revista de Ciencias Agrícolas. v27, n.1, p27-39.
- Nei Masatoshi. 1978. Estimation of average heterozygosity and genetic distance from a small number of individuals. Genetics. v.89, n.3, p583-590.
- Oslinger, A., Muñoz, E.J., Álvarez, L.A., Ariza, F., Moreno, F., Posso, A. 2006. Caracterización de cerdos criollos colombianos mediante la técnica molecular RAMs. Acta Agronómica (Colombia). v.55, n.4, p45-50.

- Ovchinnikova Anna, Krylova Ekaterina, Gavrilenko Tatjana, Smekalova Tamara, Zhuk Mikhail, Knapp Sandra, Spooner David M. 2011. Taxonomy of cultivated potatoes (*Solanum* section *Petota*: *Solanaceae*). *Botanical Journal of the Linnean Society*. v.165, Issue 2, p107-155. DOI: <https://doi.org/10.1111/j.1095-8339.2010.01107.x>
- Palacio Mejía, J.D. 2005. Estudio comparativo de la diversidad genética y divergencia evolutiva entre la especie vulnerable *Colombobalanus excelsa* (Lozano *et al.*) Nixon & Crepet y el roble común *Quercus humboldtii* Bonpl.: Implicaciones para la biología de la conservación. Tesis de Maestría. Palmira, Escuela de posgrados, Universidad Nacional de Colombia. 108p.
- Pérez, J. 2004. Evaluación de la diversidad genética de papas nativas (*Solanum tuberosum* L. ssp. *tuberosum* Hawkes) silvestres y cultivadas del sur de Chile, mediante el uso de marcadores microsatélites. Tesis de grado Lic. Agrónomo. Valdivia, Facultad de Ciencias Agrarias. Universidad Austral de Chile. <http://cybertesis.uach.cl/tesis/uach/2004/fap438e/pdf/fap438e.pdf>; consulta: 21/03/2021.
- Polanco Puerta Manuel Francisco. 2011. Caracterización morfológica y molecular de materiales de Yacón (*Smallanthus sonchifolius* (Poep. & Endl) H. Robinsón) colectados en la eco región eje cafetero de Colombia. Tesis Maestría. Palmira, Universidad Nacional de Colombia. 92p. <https://core.ac.uk/reader/11053840>; consulta: 14/03/2021.
- Ponce Almeri R, Herrera, M., Ramírez, P. (2013) Caracterización molecular de las variedades de papas cultivadas (*Solanum Spp.*) más importantes del Perú mediante el uso de microsatélites. Tesis de Grado, Universidad Nacional Mayor de San Marcos, Lima, Peru.
- Posso Terranova Andrés Mauricio, Cárdenas Henao Heiber, Murgueitio Enrique, Pascal Leterme, y Muñoz Flórez Jaime Eduardo. 2011. Diversidad genética de accesiones de nacedero *Trichanthera gigantea* (Humb. & Bonpl.) Nees mediante RAMs (Random Amplified Microsatellites). *Acta Agronómica (Colombia)*. v.60, n.2, p120-131.
- Rodríguez Luis Ernesto. 2010. Origen y evolución de la papa cultivada. Una revisión. *Agronomía Colombiana*. v.8, n.1, p9-17. www.scielo.org.co/pdf/agc/v28n1/v28n1a02.pdf; consulta: 6/03/2021.
- Rugeles, P., Posso, A., Londoño, X., Barrera, N., Muñoz J. 2012. Caracterización molecular de *Guadua angustifolia* Kunth mediante marcadores moleculares RAMs. *Acta Agronómica*. v.61, n.4, p325-330.

- Sanchez, M. 2017. Estudio de la variabilidad genética en accesiones de papa (*Solanum tuberosum* L.) mediante marcadores SSRs. Ciencia y Agricultura, v.14, n.2, p67-76.
- Sanabria, H., García, M.A., Muñoz J.E., Díaz, H.A. 2006. Caracterización molecular con marcadores RAM de árboles nativos de *Psidium guajava* (guayaba) en el Valle del Cauca. Acta Agronómica (Colombia). v.55, n.1, p1-8.
- Spooner David M., Rodríguez Flor, Polgár Zsolt, Ballard Harvey E., Jansky Shelley H. 2008. Genomic Origins of Potato Polyploids: GBSSI Gene Sequencing Data. Crop Science. v.48, s.1, pS27-S36. doi: 10.2135/cropsci2007.09.0504tpg
- Spooner, D.M. & Salas, A. 2006. Structure, biosystematics, and genetic resources. p. 1–39. En: Gopal, J. & Khurana Paul S.M. (Ed.) Handbook of potato production, improvement, and post-harvest management. Haworth Press, Binghampton, NY.
- Spooner, D.M., 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. PNAS. v.104, n.49, p19398-19403. <https://www.pnas.org/content/pnas/104/49/19398.full.pdf>; www.pnas.org/cgi/doi/10.1073/pnas.0709796104; consulta: 21/03/2021.
- Song Xiaoyan, Zhang Chunzhi, Li Ying, Feng Shuangshuang, Yang Qing, Huang Sanwen. 2016. SSR analysis of genetic diversity among 192 diploid potato cultivars. Horticultural Plant Journal. v.2, n.3, p163-171. doi: 10.1016/j.hpj.2016.08.006.
- Soto, J., Medina, T., Aquino, Y., Estrada, R. 2014. Diversidad genética de papas nativas (*Solanum* spp.) conservadas en cultivares nativos del Perú. Rev. Peru. biol. v.20, n.3, p.215-222.
- Zietkiewicz, E., Rafalski, A., Labuda, D. 1994. Genome Fingerprinting by Simple Sequence Repeat (SSR)-Anchored Polymerase Chain Reaction Amplification. Genomics. v.20, n2, p176-183. doi:10.1006/geno.1994.1151.
- Zurita-Valencia Wendy, Gómez-Cruz J. Elmar, Atrián-Mendoza Esteban, Hernández-García Alejandra, Granados-García María Elena, García-Magaña J. Jesús, Salgado-Garciglia Rafael, Sánchez-Vargas Nahum M. 2014. Establecimiento de un método eficiente de germinación in vitro y micropropagación del cirimo (*tilia mexicana schlecht.*) (Tiliaceae). Polibotánica, n.38, p129-144 http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1405-27682014000200007&lng=es&tlng=es; consulta: 02/09/2021.



Capítulo

3

Caracterización morfológica
de tubérculos de 60 genotipos
de *Solanum tuberosum*
grupo Phureja del
departamento de Nariño

- **Laura Latorre-Vásquez**¹
- **Diego Martín-Trejo**²
- **Luis Valencia-Flórez**³
- **Diego Mejía-España**⁴

3.1 Resumen

La papa en Nariño, cuenta con una gran diversidad genética. Dentro de ella, la papa criolla representa una alternativa para la cadena agroindustrial y una oportunidad para contribuir a la seguridad alimentaria, sin embargo, son pocas las variedades que se cultivan o se han conservado por pequeños agricultores; además, el desconocimiento de este material por los consumidores, han contribuido a la pérdida de la biodiversidad. No obstante, las investigaciones dirigidas a la recuperación de estos mate-

-
1. Ingeniera Agroindustrial. M.Sc., Grupo de Investigación Tecnologías Emergentes en Agroindustria, Universidad de Nariño, San Juan de Pasto, Colombia, e-mail: lilatorrev@udenar.edu.co, <https://orcid.org/0000-0002-6816-7793>
 2. Ingeniero Agroindustrial. MSc. Grupo de Investigación Tecnologías Emergentes en Agroindustria, Universidad de Nariño, San Juan de Pasto, Colombia, e-mail: dmtrejo@udenar.edu.co, <https://orcid.org/0000-0002-5651-8453>
 3. Químico. Esp. Grupo de Investigación Tecnologías Emergentes en Agroindustria, Universidad de Nariño, San Juan de Pasto, Colombia, e-mail: lfvalenciaf@udenar.edu.co, <https://orcid.org/0000-0002-2364-8227>
 4. Ingeniero Agroindustrial. M.Sc., candidato a Dr., Grupo de Investigación Tecnologías Emergentes en Agroindustria Universidad de Nariño. San Juan de Pasto, Colombia, e-mail: diegomejiaes@udenar.edu.co, <https://orcid.org/0000-0002-2364-8227>

riales permiten conocer su comportamiento y potenciar su uso. Por lo anterior, se caracterizó la variabilidad de 60 genotipos de papa criolla (*Solanum tuberosum* grupo phureja) con base en descriptores morfológicos de los tubérculos. Los genotipos se caracterizaron por poseer tubérculos con color de piel amarilla (45%) y de forma comprimida/redonda (40%). Se identificaron tres grupos. El grupo uno, se caracterizó por presentar genotipos de color de piel morada, con coloraciones rojo/violeta dispersas en la carne del tubérculo y ausentes de formas raras; en el grupo dos prevalecen los genotipos de forma alargada, con muchos ojos profundos, presentando variantes de forma como la concertinoide; por último, el grupo tres evidenció tubérculos de color de piel amarilla, ausentes de coloración en la carne del tubérculo, con brotes blancos y coloraciones rojas/violetas en la base o ápice del brote. El conocimiento de la morfología del tubérculo permite identificar posibles usos postcosecha, para promover el cultivo, potenciar su consumo y conservación de su variabilidad genética.

Palabras clave: Análisis multivariado, clúster, frecuencias, tubérculo, descriptores morfológicos.

3.2 Abstract

The potato crop in Nariño has a great genetic diversity. Within it, the Creole potato represents an alternative for the agro-industrial chain and an opportunity to contribute to food security, however, few varieties are grown or have been conserved by small farmers; Furthermore, the ignorance of this material by consumers has contributed to the loss of biodiversity. However, research aimed at the recovery of these materials allows us to know their behavior and enhance their use. Therefore, the variability of 60 native potato genotypes (*Solanum tuberosum* group Phureja) was characterized based on morphological descriptors of the tubers. The genotypes presented tubers with yellow skin color (45%) and a compressed-round shape (40%). The identified three groups. The first group represented genotypes of purple skin color, with scattered red-violet colorations in the tuber meat and absent of rare forms. In the second group, elongated genotypes prevail, with many deep eyes, presenting shape variants such as the concertinoid; finally,

the third group showed yellow skin colored tubers, absent of coloration in the tuber flesh, with white shoots and red-purple colors at the base or apex of the shoot. The knowledge of the morphology of the tuber allows identifying possible postharvest uses, to promote the cultivation, enhance its consumption and conservation of its genetic variability.

Keywords: Multivariate analysis, cluster, frequencies, tuber, morphological descriptors.

3.3 Introducción

La papa es el cuarto producto alimenticio más importante del mundo después del maíz, el trigo y el arroz, y en términos de consumo ocupa el tercer lugar después del arroz y el trigo (Jin *et al.*, 2018; Tiwari *et al.*, 2018). Es un cultivo de origen montañoso que se ha domesticado en los Andes de Sudamérica, se adapta a climas que van desde muy fríos, sujetos a heladas, hasta condiciones muy secas, lo cual contribuye a la adaptación de estos recursos al estrés abiótico y al desarrollo de resistencias a varias plagas y enfermedades (Latorre Vásquez *et al.*, 2019). Además, es una de las principales actividades agrícolas de los países en desarrollo, posee gran diversidad genética, lo que se refleja en una amplia disponibilidad de variedades nativas y mejoradas (Trejo Escobar *et al.*, 2019). Desde el punto de vista composicional, la papa contiene cantidades de nutrientes básicos como carbohidratos, proteína, fibra, vitaminas B1, B3, B6, folato, ácido pantoténico, riboflavina, y minerales como potasio, fósforo y magnesio (Aversano *et al.*, 2017; Bellumori *et al.*, 2017) y compuestos antioxidantes como fenoles, carotenoides, vitaminas E y C (Calliope *et al.*, 2018).

En gran parte de la zona andina colombiana se cultivan variedades de papa de *S. tuberosum* y *S. phureja*, bajo un sistema de economía campesina minifundista, en diferentes altitudes y condiciones geográficas y climáticas. Sin embargo, estos recursos han estado expuestos a erosión genética por la introducción de variedades mejoradas. No obstante, los agricultores de las regiones productoras mantienen colecciones valiosas de este recurso genético (Navarro *et al.*, 2010), las cuales se han convertido en una

alternativa productiva, debido a que sus tubérculos son apreciados por sus propiedades sensoriales agradables y agrícolas favorables, aunque su producción se ha destinado para autoconsumo o para mercados locales reducidos, que proporcionan bajos ingresos al agricultor (Latorre Vásquez *et al.*, 2019).

Para potenciar y conservar la biodiversidad de los recursos genéticos de papa es necesario conocer su variabilidad genética a través de la descripción morfológica de órganos vegetativos y reproductivos y rasgos agronómicos de importancia económica (Navarro *et al.*, 2010). El enfoque típico para la caracterización de genotipos implica la observación y registro de las características fenotípicas de una especie que determinan la diversidad, la similitud entre y dentro de las poblaciones, cuyos descriptores son rasgos como la forma del tubérculo, el tipo de hoja, el color de la flor, la apariencia de los brotes, y demás, que se pueden analizar durante las diferentes etapas de desarrollo del cultivo (Ghebresslassie *et al.*, 2016; Wang *et al.*, 2017).

Diferentes estudios han evidenciado la existencia de la alta variabilidad genética tomando como base algunas características morfológicas del tubérculo como forma general, formas raras, color primario y secundario de la epidermis (Martín *et al.*, 2000; Calliope *et al.*, 2018; Reddy *et al.*, 2018), mediante un análisis multivariado de datos, el cual permite extraer información acerca de la interdependencia entre las variables que caracterizan a cada individuo, e identificar la posibilidad de consumo, pues genotipos de forma redondeada o comprimida con ojos superficiales de diferentes colores de piel, pueden innovar en el mercado y la industria (Latorre Vásquez *et al.*, 2019).

En Colombia se han venido realizando estudios de caracterización en papa, Martín *et al.* (2000) identificaron la diversidad morfológica de 59 cultivares de *Solanum phureja* Juz et Buk., donde los descriptores forma general, formas raras, color primario y secundario de la piel, grado de floración y pigmentación del pistilo caracterizaron la colección. Moreno y Valbuena (2006) caracterizaron morfológicamente 464 accesiones de la especie *S.*

tuberosum spp andígena, donde cinco caracteres cualitativos a nivel de tubérculo y flor discriminaron la colección. En Nariño, Navarro *et al.* (2010) caracterizaron morfoagronómica y molecular 19 poblaciones de papa *Solanum tuberosum* L y *Solanum tuberosum* grupo *phureja*, sobresaliendo los descriptores color de caliz y color de ojos del tubérculo.

El propósito de esta investigación fue caracterizar morfológicamente los tubérculos de 60 genotipos de papa criolla (*S. tuberosum* grupo Phureja), mediante el Análisis de Correspondencias Múltiples y de Clasificación Jerárquica, con el fin de identificar genotipos potenciales caracterizados por poseer tubérculos para posteriores procesos de transformación.

3.4 Materiales y métodos

La investigación se llevó a cabo en el laboratorio de Investigación en Conservación y Calidad de Alimentos de la Facultad de Ingeniería Agroindustrial de la Universidad de Nariño sede Torobajo. La cosecha y recolección de los 60 genotipos de papa criolla *S. tuberosum* grupo Phureja, procedentes de un cultivo realizado a partir de semilla vegetativa tipo tubérculo de la colección de trabajo de la Universidad de Nariño, ubicado en la Granja Experimental Botana de la Universidad de Nariño, localizada en el corregimiento de Catambuco, vereda Botana en el municipio de San Juan de Pasto (Colombia) a 2820 msnm, con temperatura anual promedio de 12°C y precipitación anual de 967mm. Se seleccionaron tubérculos sin daños, manchas, cortes o presencia de enfermedades o plagas, los cuales fueron caracterizados en la primera semana después de la cosecha.

Caracterización morfológica. Las características morfológicas de tubérculos, se basaron en los descriptores propuestos por Huamán (2008), con algunas modificaciones. Se utilizaron 15 descriptores, los cuales fueron: color predominante de la peridermis o piel (CPP), intensidad del color predominante (ICPP), color secundario de la piel (CSP), distribución del color secundario de piel (DCSP), color predominante de carne (CPC), color secundario de carne (CSC), distribución color secundario de la endodermis o carne (DCSC), forma general del tubérculo (FGT), forma rara del

tubérculo (FRT), profundidad de los ojos (PO), número de ojos (NO) por tubérculo, color predominante del brote (CPB), color secundario del brote (CSB), distribución del color secundario del brote (DCSB) y dormancia del tubérculo (DT) expresado como número de días desde la cosecha hasta que tuvieron brotes de 3 a 4 mm de largo (Tabla 3.1). Cada una de las características se evaluaron durante la cosecha en 10 tubérculos tomados al azar de cada cultivar.

Tabla 3.1. Escala de evaluación (EE) de las variables cualitativas utilizadas en la caracterización morfológica en 60 genotipos de *S. tuberosum* grupo Phureja.

<i>Peridermis (piel) de tubérculo</i>				
EE	<i>CPP</i>	<i>ICPP</i>	<i>CSP</i>	<i>DCSP</i>
1	Amarillo	Claro	Ausente	Ausente
2	Rojo/Violeta	Intermedio	Amarillo	En los ojos
3	Morado	Oscuro	Rojo/Violeta	Disperso
4		Morado		
<i>Endodermis (carne) del tubérculo</i>				
EE	<i>CPC</i>	<i>CSC</i>	<i>DCSC</i>	
1	Blanco/Crema	Ausente	Ausente	
2	Amarillo	Blanco/Crema	Disperso	
3	Rojo/Violeta	Amarillo	En anillo	
4		Rojo/Violeta		
<i>Forma del tubérculo</i>				
EE	<i>FGT</i>	<i>FRT</i>	<i>PO</i>	<i>***NO</i>
1	Comprimido/redondo	Ausente	Superficial	Muy pocos
2	Elíptico	*Forma 1	Profundo	Pocos
3	Oblongo/Alargado	**Forma 2	Muy Profundo	Intermedio
4				Muchos
<i>Brotos del tubérculo</i>				<i>Dormancia</i>
EE	<i>CPB</i>	<i>CSB</i>	<i>DCSB</i>	<i>***DT</i>
1	Blanco	Ausente	Ausente	Muy corto
2	Rojo/Violeta	Blanco	Base/Ápice	Corto
3		Rojo/Violeta	A lo largo	

*Forma 1: Aplanado, clavado, reniforme y fusiforme; **Forma 2: Falcado, enroscado, digitado, concertinoide; ***NO: Muy pocos (<5), Pocos (5-7), Intermedio (8-10), Muchos (>10); ***DT: Muy corto (<15 días), Corto (>15 días).

Análisis estadístico. Los datos registrados de la caracterización morfológica se procesaron mediante el Análisis de Correspondencias Múltiples (ACM). El Análisis de Clasificación Jerárquica para agrupar genotipos de papas con cualidades similares, se basó en el criterio de clasificación de Ward, y luego se obtuvo un dendograma en el cual se identificaron los clústers. Todos los análisis estadísticos se realizaron con el Software SPAD Versión 5.6.

3.5 Resultados y discusión

El análisis descriptivo del Análisis de Correspondencias Múltiples (ACM) de las variables cualitativas evaluadas en la caracterización morfológica de papa *S. phureja* (Tabla 3.2), permitió observar que predominan los genotipos con color primario en la piel amarillo (45%) y morado (43,33%) y ausentes de color secundario (70%), con coloración primaria en la carne blanca/crema (30%) o amarilla (30%) y coloración secundaria roja/violeta (40%) distribuida en forma dispersa (38,33%). Similares resultados fueron reportados por Monteros *et al.* (2011), quienes identificaron gran variedad de colores en la carne y mayor frecuencia de coloraciones crema y amarillo en la piel. Madroñero *et al.* (2013), determinaron que el color de la piel primario y secundario y el color secundario de la carne, son las mejores variables cualitativas para discriminar una colección de papas andinas.

Tabla 3.2. Frecuencias absolutas (FA) y relativas (FR) de las variables cualitativas evaluadas en la caracterización morfológica en 60 genotipos de *S. tuberosum* grupo Phureja.

Variable	Categoría	FA	FR
Color predominante de peridermis (piel)	Amarillo	27	45,00%
	Rojo/Violeta	7	11,67%
	Morado	26	43,33%
Intensidad del color predominante de la piel	Claro	26	43,33%
	Intermedio	20	33,33%
	Oscuro	14	23,34%
Color secundario de la piel	Ausente	42	70,00%
	Amarillo	7	11,67%
	Rojo/Violeta	4	6,67%
	Morado	7	11,67%

Variable	Categoría	FA	FR
Distribución del color secundario de la piel	Ausente	42	70,00%
	En los ojos	0	0,00%
	Disperso	18	30,00%
Color predominante de la endodermis (carne)	Blanco/Crema	30	30,00%
	Amarillo	30	30,00%
	Rojo/Violeta	0	0,00%
Color secundario de la carne	Ausente	36	60,00%
	Blanco/Crema	0	0,00%
	Amarillo	0	0,00%
	Rojo/Violeta	24	40,00%
Distribución del color secundario de la carne	Ausente	35	58,33
	Disperso	23	38,33%
	En anillo	2	3,33%
Forma general del tubérculo	Comprimido/Redondo	24	40,00%
	Elíptico	13	21,67%
	Oblongo/Alargado	23	38,33%
Forma rara del tubérculo	Ausente	49	81,67%
	Forma 1	4	6,67%
	Forma 2	7	11,67%
Profundidad de los ojos	Superficial	25	41,67%
	Profundo	26	43,33%
	Muy profundo	9	15,00%
Número de ojos	Muy pocos	0	0,00%
	Pocos	15	25,00%
	Intermedio	26	43,33%
	Muchos	19	31,67%
Color predominante del brote	Blanco	24	40,00%
	Rojo/Violeta	36	60,00%
Color secundario del brote	Ausente	0	0,00%
	Blanco	41	68,33%
	Rojo/Violeta	19	31,67%
Distribución del color secundario del brote	Ausente	0	0,00%
	Base/Ápice	29	48,33%
	A lo largo	31	51,67%
Dormancia del tubérculo	Muy corto	59	98,33%
	Corto	1	1,67%

FA = frecuencia absoluta, FR = frecuencia relativa.

En cuanto a la forma, predominan los genotipos comprimidos/redondos (40%), seguidos de los oblongos/alargados (38,33%) y los elípticos (21,67%), ausentes en su mayoría de formas raras (81,67%), con ojos profundos (43,33%) y superficiales (41,67%), y un número de ojos intermedio (43,33%), que van de 8 a 10 ojos por tubérculo. En cuanto a los brotes, los genotipos presentaron coloración secundaria blanca (68,33%) distribuida a lo largo del brote (51,67%), con tiempos de dormancia muy cortos (98,33%), es decir, que los tubérculos empiezan a tener brotes en menos de 15 días (Huamán, 2008).

Los genotipos estudiados mostraron diversidad de formas y colores en la piel como en la pulpa. Se destacaron las tonalidades amarillas y moradas (Tabla 3.3). Investigaciones similares han sido reportadas por Martín *et al.* (2000), quienes evidenciaron que en la caracterización de 59 cultivares de *Solanum phureja* Juz. et Buk, establecidos en los centros de investigación Tibaitatá y San Jorge en Colombia, se destacaron la forma general y rara del tubérculo, además del color primario y secundario de la piel. Ghebreslassie *et al.* (2016) mostraron la diversidad morfológica de 21 accesiones de papa cultivadas en Eritrea, África, con base en descriptores en estado vegetativo, de floración y reproductivo del cultivo, tales como tamaño, forma, coloración, ojos, textura, peso y madurez del tubérculo. Calliope *et al.* (2018) caracterizaron 44 genotipos de papas andinas (*Solanum tuberosum* subsp. *andigenum*), procedentes del banco de germoplasma del Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA Buenos Aires, Argentina), en los cuales observaron frecuencias más altas en la forma general del tubérculo, el color predominante de la piel y, color primario, secundario y distribución en la carne.

Por otro lado, la caracterización morfológica se puede asociar con la calidad externa de los tubérculos, la cual se basa en aspectos como el color de la piel, el tamaño, la forma y la profundidad de los ojos (Romano *et al.*, 2018), cuyo conocimiento permite aumentar la visibilidad de las papas y destacar sus características para promover su comercialización en fresco y uso en la industria de procesamiento, en donde los genotipos de diferentes formas

y colores pueden innovar en el mercado fresco, culinario y de procesamiento.

La contribución individual de los factores de variabilidad total y los valores propios resultado del ACM se muestra en la Tabla 3.3. Los primeros cinco factores, explicaron el 58,68% de la información, donde el primer factor explica el 21,40% de la variabilidad.

El dendrograma expresó la asociación de genotipos en tres grupos claramente diferenciados a una distancia de vinculación de 0,08 unidades (Figuras 3.1 y 3.2). El primer clúster agrupó el 45% del total de la población (27 genotipos), el segundo el 11,67% (7 genotipos) y finalmente, el tercer clúster representó el 43,33% (26 genotipos). Los genotipos con la descripción de sus características morfológicas y el grupo al cual pertenecen se evidencian en la Tabla 3.4.

Tabla 3.3. Valores propios y varianza explicada por los factores de la caracterización morfológica en 60 cultivares de *S. tuberosum* grupo Phureja.

No.	Valor Propio	Porcentaje	Acumulado (%)
1	0,35	21,40	21,40
2	0,18	11,09	32,49
3	0,17	10,11	42,60
4	0,14	8,74	51,35
5	0,12	7,34	58,68

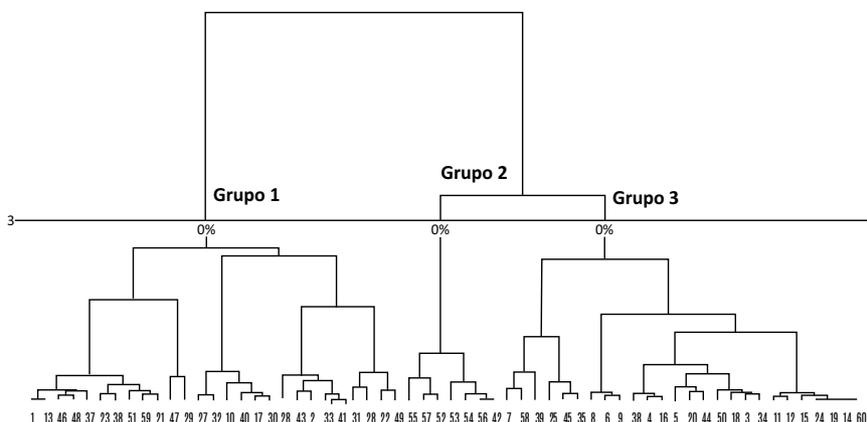


Figura 3.1. Dendrograma del análisis de clasificación jerárquica para las características morfológicas en 60 genotipos de *S. tuberosum* grupo Phureja.



Chaucha Pura



Aguacata
Grupo 1



Ratona Morada



Tornilla Brasileira



Punte
Grupo 2



Tornilla Negra



Botella Roja



Ratona Blanca



Cachona

Grupo 3

Figura 3.2. Genotipos de papa representativos de cada uno de los grupos formados.

Tabla 3.4. Características morfológicas de los tubérculos de 60 genotipos de papa *S. tuberosum* grupo Phureja.

No.	Nombre común	Clúster	Características
1	Aguacata	1	Tubérculos de color morado, con carne blanca/crema con manchas color dispersas rojo/violeta, de forma oblonga/alargada, con 8 a 10 ojos superficiales por tubérculo, con brotes de color rojo/violeta con blanco.
2	Algodona	1	De color amarillo con manchas dispersas moradas en la piel, con carne amarilla con manchas dispersas rojo/violeta, de forma comprimida, con 8 a 10 ojos superficiales por tubérculo, con brotes de color rojo/violeta con blanco.
3	Amarilla Blanca Criolla	3	De piel y carne amarilla, con forma comprimido/redondo, con 8 a 10 ojos profundos por tubérculo, con brotes blancos y rojo/violeta en la base o ápice del brote.
4	América	3	Tubérculos de color morado oscuro, con carne de color blanco/crema, de forma comprimida/redonda, con 8 a 10 ojos profundos por tubérculo, y brotes de color rojo/violeta con blanco en la base o ápice del brote.
5	Andina	3	De piel amarilla clara, con carne amarilla, de forma oblongo/alargada, con 5 a 7 ojos muy profundos por tubérculo, con brotes blancos.
6	Borrega	3	Tubérculos de color amarillo claro, con carne amarilla, de forma oblonga/alargada y reniforme, con 8 a 10 ojos profundos por tubérculo, con brotes blancos.
7	Botella Roja	3	De piel roja/violeta, con carne de color blanco/crema con manchas dispersas de color rojo/violeta, de forma oblonga/alargada, con 5 a 7 ojos superficiales por tubérculo, con brotes rojo/violeta con blanco en la base o ápice.
8	Cachona	3	De color amarillo claro en la piel, con carne amarilla, de forma oblonga/alargada reniforme, con 8 a 10 ojos muy profundos y brotes de color blanco con rojo/violeta en la base o ápice del brote.

No.	Nombre común	Clúster	Características
9	Cachuda	3	De color amarillo claro en la piel, con carne amarilla, de forma oblonga/alargada reniforme, con 5 a 7 ojos profundos, con brotes blancos.
10	Calavera	1	De color morado oscuro con manchas dispersas amarillas en la piel, con carne de color blanco/crema con manchas dispersas rojo/violeta, de forma comprimida/redonda, con 8 a 10 ojos profundos y brotes blancos con rojo/violeta.
11	Chaucha Manzana	3	Tubérculos de color amarillo claro, con color en la pulpa blanco/crema, de forma comprimida/redonda, con muchos ojos profundos, con brotes de color blancos con rojo/violeta en la base o ápice del brote.
12	Chaucha Piña	3	Tubérculos de color amarillo claro, con color en la pulpa blanco/crema, de forma oblonga/alargada, con muchos ojos profundos, con brotes de color blanco con rojo/violeta en la base o ápice del brote.
13	Chaucha Pura	1	Tubérculos de color morado, con pulpa de color blanco/crema con manchas dispersas rojo/violeta, de forma oblonga/alargada, con 8 a 10 ojos superficiales por tubérculo, con brotes rojo/violeta con blanco a lo largo del brote.
14	Colombia	3	De piel amarilla clara, con carne amarilla, de forma comprimida/redonda, con muchos ojos profundos y brotes de color blanco con rojo/violeta en la base o ápice del brote.
15	Criolla NN	3	De piel y carne amarilla, de forma comprimido/redondo, con muchos ojos profundos y brotes de color blanco con rojo/violeta en la base o ápice del brote.
16	Curipanga	3	Piel de color morado oscuro, con carne de color amarillo, de forma comprimida/redonda, con 8 a 10 ojos superficiales por tubérculo, con brotes rojo/violeta con blanco en la ápice o base del brote.

No.	Nombre común	Clúster	Características
17	Curiqinga	1	De color morado oscuro con manchas dispersas amarillas en la piel, con carne de color blanco/crema con manchas dispersas rojo/violeta, de forma comprimida/redonda, con muchos ojos profundos y brotes rojo/violeta con blanco.
18	Dorada	3	De color amarillo oscuro en la piel, con carne amarilla, de forma comprimida/redonda, con 8 a 10 ojos superficiales por tubérculo, con brotes de color blanco con rojo/violeta en la base o ápice del brote.
19	Galeras	3	De piel y carne amarilla, de forma comprimida/redonda, con muchos ojos profundos, y brotes de color blanco con rojo/violeta en la base o ápice del brote.
20	Guaneña	3	De piel y carne amarilla, de forma comprimido/redondo, con muchos ojos superficiales, con brotes rojo/violeta con blanco distribuido a lo largo del brote.
21	Guata Negra	1	De piel morado oscuro, con carne de color blanco/crema y manchas dispersas rojo/violeta, de forma comprimida/redonda, con 5 a 7 ojos profundos por tubérculo, con brotes rojo/violeta con blanco a lo largo.
22	Huevo de Indio	1	Piel de color amarillo claro con manchas dispersas rojo/violeta, con carne amarilla con manchas dispersas rojo/violeta, de forma elíptica, con 8 a 10 ojos profundos por tubérculo, con brotes rojo/violeta con blanco.
23	Jardinera	1	Tubérculos de piel rojo/violeta, con carne de color amarillo con manchas dispersas rojo/violeta, de forma oblonga/alargada, con muchos ojos profundos, con brotes de color rojo/violeta con blanco a lo largo.
24	Latina	3	Color de piel amarillo claro, con carne amarilla, de forma comprimida/redonda, con muchos ojos profundos y brotes de color blanco.

No.	Nombre común	Clúster	Características
25	Leona	3	De color rojo violeta con manchas dispersas amarillas en la piel, de carne color blanco/crema, de forma elíptica, con 8 a 10 ojos superficiales por tubérculo, con brotes de color blancos con rojo/violeta en la ápice o base del brote.
26	Malvaseña	1	De color amarillo claro con manchas dispersas moradas en la piel, con carne de color amarillo, de forma elíptica, con 8 a 10 ojos profundos por tubérculo, con brotes de color rojo/violeta con blanco a lo largo.
27	Mambera	1	Piel de color morado con manchas dispersas amarillas, con carne amarilla, de forma comprimida/redonda, con 8 a 10 ojos profundos por tubérculo, con brotes de color rojo/violeta con blanco a lo largo del brote.
28	Mambera Vieja	1	Piel de color amarillo con manchas dispersas moradas, con carne de color amarillo con manchas dispersas rojo/violeta, de forma oblonga/alargada, con 5 a 7 ojos superficiales, con brotes de color rojo/violeta con blanco.
29	Manzana	1	Tubérculos de color morado en la piel, con carne color blanco/crema con manchas dispersas rojo/violeta, de forma oblonga/alargada fusiforme, con 5 a 7 ojos superficiales por tubérculo, con brotes rojo/violeta con blanco.
30	Monteña	1	Piel de color morado oscuro con manchas dispersas amarillas, con carne de color amarillo con manchas dispersas rojo/violeta, de forma oblonga/alargada, con muchos ojos profundos, y brotes de color rojo/violeta con blanco.
31	Monteña Chaucha	1	De piel roja/violeta con manchas dispersas amarillas, con carne blanca/crema con manchas dispersas rojo/violeta, de forma oblonga/alargada, con 8 a 10 ojos superficiales por tubérculo, con brotes rojo/violeta con blanco.

No.	Nombre común	Clúster	Características
32	Morada NN	1	Tubérculos de piel morada clara con manchas dispersas amarillas, de carne color amarilla, de forma comprimida/redonda, con 8 a 10 ojos profundos, y brotes de color rojo/violeta con blanco en la ápice o base.
33	Morasurco	1	Piel de color amarillo con manchas dispersas moradas, carne de color blanco/crema con manchas dispersas rojo/violeta, de forma oblonga/alargado, con 5 a 7 ojos profundos y brotes de color rojo/violeta con blanco.
34	Nacional	3	De piel y carne amarilla, de forma comprimida/redonda, con 5 a 7 ojos superficiales por tubérculo, con brotes de color blanco con rojo/violeta en la base o ápice del brote.
35	Nevada Pequeña	3	De color rojo/violeta en la piel, con carne blanco/crema, de forma elíptica, con 8 a 10 ojos superficiales por tubérculo, con brotes de color blanco con rojo/violeta en la base o ápice del brote.
36	Ñoña	1	Piel de color morado, con carne de color blanco/crema con manchas dispersas rojo/violeta, de forma comprimido/redondo, con 8 a 10 ojos profundos y brotes de color rojo/violeta con blanco a lo largo.
37	Pacha Negra	1	Tubérculos de piel morada, con pulpa amarilla y manchas dispersas rojo/violeta, de forma elíptica, con 5 a 7 ojos superficiales y brotes de color rojo/violeta con blanco en la base o ápice del brote.
38	Paisa	3	De piel amarilla oscura, con carne de color amarillo, de forma comprimida/redonda, con 8 a 10 ojos profundos por tubérculo, con brotes de color rojo/violeta con blanco en la base o ápice.
39	Pamba Lisa	3	De color rojo/violeta oscuro con manchas dispersas moradas, de carne amarilla, con forma oblongo/alargada, con 5 a 7 ojos superficiales por tubérculo y brotes de color rojo/violeta con blanco.

No.	Nombre común	Clúster	Características
40	Pandita	1	Piel de color morado con manchas dispersas amarillas, con carne blanca/crema con manchas dispersas color rojo/violeta, de forma comprimida/redonda, con muchos ojos profundos, con brotes de color rojo/violeta con blanco.
41	Pintada Negra	1	Piel amarilla clara con manchas dispersas moradas, con carne blanca/crema con manchas dispersas color rojo/violeta, de forma comprimida/redonda, con 5 a 7 ojos profundos y brotes rojo/violeta con blanco.
42	Punte	2	Tubérculos de color de piel morado oscuro, con carne amarilla, de forma oblonga/alargado concertinoide, con muchos ojos muy profundos, con brotes de color rojo/violeta con blanco a lo largo del brote.
43	Ratona	1	De piel morada con manchas dispersas amarillas, con carne blanca/crema con manchas dispersas de color rojo/violeta, de forma elíptica, con 8 a 10 ojos superficiales, con brotes rojo/violeta con blanco.
44	Ratona Amarilla	3	Tubérculos de piel amarilla clara, con carne color amarillo, de forma elíptica, con 8 a 10 ojos superficiales por tubérculo, con brotes blancos.
45	Ratona Blanca	3	De piel amarilla clara, con carne de color amarillo, de forma elíptica, con 8 a 10 ojos superficiales por tubérculo, con brotes de color blanco con rojo/violeta en la ápice o base.
46	Ratona Morada	1	Piel de color morado, con carne blanca/crema con manchas dispersas color rojo/violeta, de forma elíptica, con 8 a 10 ojos superficiales por tubérculo, con brotes de color rojo/violeta con blanco.
47	Ratona Negra	1	Piel de color morado oscuro, con carne blanca/crema con un anillo vascular rojo/violeta, de forma elíptica, con 5 a 7 ojos superficiales por tubérculo, con brotes de color rojo/violeta con blanco.

No.	Nombre común	Clúster	Características
48	Ratona Roja	1	De piel morada, con carne blanca/crema con manchas dispersas color rojo/violeta, de forma elíptica, con 5 a 7 ojos superficiales y brotes rojo/violeta con blanco a lo largo del brote.
49	Ratona Pintada	1	Piel amarilla clara con manchas dispersas color rojo/violeta, con carne blanca/crema, de forma elíptica, con 5 a 7 ojos superficiales por tubérculo, con brotes rojo/violeta con blanco a lo largo.
50	Riñona	3	Tubérculos de color morado claro en la piel, con carne blanca/crema, de forma comprimida/redonda, con 8 a 10 ojos profundos y brotes de color blanco.
51	Silvania	1	De piel morada clara, con carne blanca/crema con manchas dispersas color rojo/violeta, de forma comprimida/redonda, con muchos ojos superficiales y brotes rojo/violeta con blanco.
52	Tornilla Amarilla	2	Color de piel amarilla clara, con carne color blanco/crema, de forma oblonga/alargada concertinoide, con muchos ojos muy profundos, con brotes de color blanco con rojo/violeta en la base o ápice.
53	Tornilla Blanca	2	Tubérculos de piel roja/violeta claro, con carne blanca/crema, de forma oblonga/alargada concertinoide, con 8 a 10 ojos muy profundos, con brotes rojo/violeta con blanco a lo largo.
54	Tornilla Brasileña	2	De piel morada clara, con carne amarilla, de forma oblonga/alargado concertinoide, con muchos ojos muy profundos, con brotes de color rojo/violeta con blanco a lo largo de brote.
55	Tornilla Cocha Cristales	2	Piel de color amarillo claro con manchas dispersas moradas, con carne blanco crema, de forma oblonga/alargada concertinoide, con muchos ojos muy profundos, con brotes blancos con rojo/violeta en la ápice y base.

No.	Nombre común	Clúster	Características
56	Tornilla Negra	2	De color morado oscuro en la piel, con carne amarilla, de forma oblonga/alargada concertinoide, con muchos ojos muy profundos, con brotes rojo/violeta con blanco.
57	Tornilla Roja	2	Piel de color rojo/violeta, con carne amarilla, de forma oblonga/alargada concertinoide, con muchos ojos muy profundos, con brotes blancos con rojo/violeta en la ápice o base del tubérculo.
58	Uva Pureja Negra	3	Piel de color rojo/violeta oscuro, con carne blanca/crema con manchas dispersas color rojo/violeta, de forma elíptica, con brotes de color blanco con rojo/violeta en la base o ápice.
59	Uvilla Plomo	1	Tubérculos de color de piel morado oscuro, con carne blanca/crema con manchas dispersas color rojo/violeta, de forma comprimida/redonda, con 8 a 10 ojos superficiales, con brotes de color rojo/violeta con blanco.
60	Yema de Huevo	3	De color amarillo claro en la piel, con carne amarilla, de forma comprimida/redonda, con muchos ojos profundos por tubérculo y brotes de color blanco con rojo/violeta en la base o ápice.

En la Tabla 3.5 se muestran las variables que fueron significativas para la conformación de cada uno de los grupos, sin tener en cuenta la dormancia del tubérculo, cuya variable presentó un p-valor mayor a 0,05 (0,559), ya que el 98,33% de los genotipos presentaron tiempos de dormancia menor a 15 días. En el clúster uno, el 69,23 % de los genotipos se identifican por tener un color de piel predominante morado de intensidad intermedia, con una distribución dispersa de color secundario, el 63,33% de los genotipos poseen coloración predominante de la carne blanca/crema y, el 95,83% se identificaron por presentar coloración secundaria dispersa roja/violeta en la carne del tubérculo. En el 75% de los genotipos, la coloración predominante del brote fue roja/violeta, con coloraciones secundarias blancas dispersas a lo largo del brote.

Tabla 3.5. Caracterización de los grupos conformados según el efecto de las variables cualitativas evaluadas en la caracterización morfológica en 60 genotipos de *S. tuberosum* grupo Phureja.

Variable	Clúster uno	Clúster dos	Clúster tres
Color predominante piel**	Morado	-----	Amarillo
Intensidad color predominante**	Intermedio	-----	Claro
Color secundario piel**	-----	-----	Ausente
Distribución color secundario piel**	Disperso	-----	Ausente
Color predominante carne**	Blanco/Crema	-----	-----
Color secundario carne***	Rojo/Violeta	-----	Ausente
Distribución color secundario carne***	Disperso	-----	Ausente
Forma general del tubérculo**	-----	Oblongo/Alargado	-----
Forma rara del tubérculo***	Ausente	Forma 2	-----
Profundidad de ojos***	-----	Muy profundo	-----
Número de ojos**	-----	Muchos	-----
Color predominante brote***	Rojo/Violeta	-----	Blanco
Color secundario brote***	Blanco	-----	Rojo/Violeta
Distribución color secundario brote***	A lo largo	-----	Base/Ápice

* = p-valor < 0,05; ** = p-valor < 0,01; *** p-valor < 0,001.

Los genotipos del Clúster dos presentaron formas oblongas/alargadas y raras como falcada, enroscada, digitada o concertinoide, con muchos ojos muy profundos, más de 10 por tubérculo. En el clúster tres, el 66,67% de los genotipos se caracterizan por presentar una piel de coloración predominante amarilla clara y ausente de coloración secundaria tanto en la piel como en la pulpa. En la mayoría de los brotes de los tubérculos, predomina el color blanco

(83,33%), con una coloración secundaria roja/violeta en la base o ápice del brote. Las características de cada uno de los grupos formados, permiten en cierta medida identificar el potencial de los genotipos que lo conforman, siendo un primer mercado el de productos frescos, los cuales han seleccionado la papa por características visuales como el tamaño, la forma, el color y el brillo de los tubérculos (Ekin, 2011). Para ello, es necesario caracterizar las propiedades nutricionales de esta especie (Aversano *et al.*, 2017) en busca de alternativas de transformación y generación de valor, mediante tecnologías de producción y postcosecha, para aumentar la visibilidad de las papas nativas y promover un mayor consumo (Valencia Flórez *et al.*, 2019).

Otras investigaciones que han usado el análisis multivariado de datos, han identificado grupos con características similares. Ekin (2011) determinó la calidad física y química de tubérculos de nueve cultivares de papa procedentes de la región de Anatolia oriental de Turquía, e identificó formas de uso y consumo. Calliope *et al.* (2018) obtuvieron información sobre las características morfológicas, nutricionales y funcionales de 44 genotipos de papas andinas de Argentina, en las cuales se generaron tres grupos con características homogéneas. Otros autores como Ligarreto y Suárez (2003) clasificaron en cuatro grupos por características comunes que requiere la industria, 50 accesiones de papa criolla especie *Solanum phureja* Juz et Buk, cultivadas en el Centro de Investigación de Tibaitatá, Boyacá, Colombia.

En Nariño, Colombia una población de 102 genotipos de papa criolla *Solanum tuberosum* L. Grupo Andígena provenientes de 28 familias de hermanos completos fueron caracterizados tanto morfológica como agronómicamente, los cuales se distribuyeron en cuatro grupos (Madroñero *et al.*, 2013). Latorre Vásquez *et al.* (2019), mediante el análisis de datos mixtos, catalogaron en tres grupos a 24 genotipos según características morfológicas y nutricionales de los tubérculos cultivados en Nariño, Colombia. El Análisis multivariado de datos y de clasificación jerárquica, permiten caracterizar e identificar la variabilidad presente en los cultivares y formar grupos con características similares, que

proporcionan información útil para programas de mejoramiento genético y conservación de la papa, también se puede llegar a definir posteriores aplicaciones en la industria alimentaria y no alimentaria.

3.6 Conclusiones

Los descriptores morfológicos mostraron gran diversidad de formas y colores. Los genotipos evaluados se distribuyeron en tres grupos. Los genotipos del grupo uno, se caracterizaron por la presencia de colores en su pulpa. Estos pueden ser utilizados para consumo en fresco, en la industria de frituras y en preparaciones culinarias. Los genotipos de los grupos dos y tres pueden destinarse para la comercialización en fresco, sin embargo, el grupo dos presenta diversidad de formas que pueden ser atractivas para uso en restaurantes o productos con muy poco procesado.

3.7. Agradecimientos

La investigación se realizó en el marco del proyecto “Mejoramiento Tecnológico y Productivo del Sistema Papa en el Departamento de Nariño”, financiado por el Sistema General de Regalías FCTeI - Gobernación de Nariño, con el apoyo de los Grupos de Investigación Tecnologías Emergentes en Agroindustria y Frutales Andinos de la Universidad de Nariño y la Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria - Agrosavia.

3.8 Bibliografía del Capítulo 3

- Aversano, R., Contaldi, F., Adelfi, M., D'Amelie, V., Dirreto, G., De Tommasi, N., Vaccaro, C., Vassallo, A., and Carputo, D. 2017. Comparative metabolite and genome analysis of tuber-bearing potato species. *Phytochemistry*. 137, p42-51 doi: 10.1016/j.phytochem.2017.02.011
- Bellumori, M., Innocenti, M., Michelozzi, M., Cerretani, L., and Mulinacci, N. 2017. Coloured-fleshed potatoes after boiling: Promising sources of known antioxidant compounds. *Journal of Food Composition and Analysis*. 59, p1-7. doi: <https://doi.org/10.1016/j.jfca.2017.02.004>

- Calliope, S., Lobo, M., and Sammán, N. 2018. Biodiversity of Andean potatoes: Morphological, nutritional and functional characterization. *Food Chemistry*. 238, p42-50. doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.foodchem.2016.12.074>
- Ekin, Z. 2011. Some analytical quality characteristics for evaluating the utilization and consumption of potato (*Solanum tuberosum* L.) tubers. *African Journal of Biotechnology*. v.10, n.32, p6001-6010.
- Ghebresslassie, B., Githiri, S.M., Tadesse, M., and Kasili, R. 2016. Morphological diversity of farmers' and improved potato (*Solanum tuberosum*) cultivars growing in eritrea. *Journal of Plant Studies*. v.5, n.2, p63-71. doi: <http://dx.doi.org/10.5539/jps.v5n2p63>
- Huaman, Z. 2008. Descriptores morfológicos de la papa (*Solanum tuberosum* L.). Tenerife, España, Centro de Conservación de la Biodiversidad Agrícola de Tenerife CCBAT, Cabildo de Tenerife. p40.
- Jin, L., Cai, Q., Huang, W., Dastmalchi, K., Rigau, J., Molinas, M., Figueras, M., Serra, O., and Stark, R. 2018. Potato native and wound periderms are differently affected by down-regulation of FHT, a suberin feruloyl transferase. *Phytochemistry*. 147, p30-48. doi: [10.1016/j.phytochem.2017.12.011](https://doi.org/10.1016/j.phytochem.2017.12.011)
- Latorre Vásquez, L., Mejía España, D., Chaves Morillo, D., Córdoba Solarte, L., Trejo Escobar, D., and Valencia Flórez, L. 2019. Morphological and Nutritional Characterization of Tubers of 24 Genotypes of Native Potato, 7th International Engineering, Sciences and Technology Conference (IESTEC), Panamá. p30-35. doi: [10.1109/IESTEC46403.2019.00014](https://doi.org/10.1109/IESTEC46403.2019.00014)
- Ligarreto, G. y Suárez, M. 2003. Evaluación del potencial de los recursos genéticos de papa criolla (*Solanum phureja*) por calidad industrial. *Agronomía Colombiana*. v.21, n.1-2, p83-94.
- Madroñero, I., Rosero, J., Rodríguez, L., Navia, J., y Benavides, C. 2013. Caracterización morfo agronómica de genotipos promisorios de papa criolla (*Solanum tuberosum* L. Grupo Andigenum) en Nariño. *Temas Agrarios*. v.18, n.2, p50-66. doi: <https://doi.org/10.21897/rta.v18i2.716>
- Martín, G., Bonilla, D., Ligarreto, G., y Fajardo, D. 2000. Identificación y análisis de la variabilidad morfológica de 59 cultivares de papa criolla (*Solanum phureja* Juz et Buk). *Agronomía Colombiana*. 17, p49-60.
- Monteros, C., Yumisaca, F., Andrade-Piedra, J., y Reinoso, I. 2011. Papas nativas de la sierra centro y norte del ecuador: Catálogo etnobotánico, morfológico, agronómico y de calidad. Instituto Nacional Autónomo de Investigaciones Agropecuarias (INIAP): Quito, Ecuador.
- Moreno, J. y Valbuena, I. 2006. Colección central colombiana de papa la mayor riqueza de variabilidad genética para el mejoramiento del cultivo. Centro

de investigación Tibaitatá. Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria. Tibaitatá, Colombia, 9 p

- Navarro, C., Bolaños, L., Lagos, T.C. 2010. Caracterización morfoagronómica y molecular de 19 genotipos de papa guata y chaucha (*Solanum tuberosum* L. y *Solanum phureja* Juz et Buk) cultivados en el departamento de Nariño. *Revista de Agronomía*. v.27, n.1, p27-39.
- Reddy, R., Soibam, H., Ayam, V.S., Panja, P., and Mitra, S. 2018. Morphological characterization of sweet potato cultivars during growth, development and harvesting. *Indian Journal of Agricultural Research*. v.52, n.1, p46-50. doi: 10.18805/IJARE.A-4798
- Romano, A., Masi, P., Aversano, R., Carucci, F., Palomba, S. 2018. Microstructure and tuber properties of potato varieties with different genetic profiles. *Food Chemistry*. 239: p789-796. doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.foodchem.2017.07.010>
- Tiwari, J., Ali, N., Devi, S., Kumar, V., Zinta, R., Chakrabarti, S. 2018. Development of microsatellite markers set for identification of Indian potato varieties. *Scientia Horticulturae*. 231, p22-30. doi: <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2017.11.027>
- Trejo Escobar, D., Cortés, M., y Mejía España, D. 2019. Influencia de proceso de fritura al vacío sobre la calidad de chips de papa nativa, variedad Botella Roja. *Información Tecnológica*. v.30, n.5, p67-80. doi: <dx.doi.org/10.4067/S0718-07642019000500067>
- Valencia Flórez, L., Trejo Escobar, D., Latorre Vásquez, L., Mejía-España, D. Hurtado Benavides, A. 2019. Influence of storage conditions on the quality of two varieties of native potato (*Solanum tuberosum* group Phureja). *DYNA*. 86(209): 56-62. doi: <http://dx.doi.org/10.15446/dyna.v86n209.72958>
- Wang, J., Hou, L., Wang, R., He, M., Liu, Q. 2017. Genetic diversity and population structure of 288 potato (*Solanum tuberosum* L.) germplasm revealed by SSR and AFLP markers. *Journal of Integrative Agriculture*. v.16, n.11, p2434-2443. doi: 10.1016/S2095-3119(16)61619-2



Capítulo

4

Caracterización morfológica
de la colección de
Solanum tuberosum
grupos Phureja y Andígena
de la Universidad de Nariño

- **Danita Andrade-Díaz**¹
- **Tulio César Lagos-Burbano**²

4.1 Resumen

El desconocimiento de la variabilidad genética en los caracteres de importancia agronómica en las colecciones de trabajo es una limitante en el progreso del mejoramiento genético de una especie vegetal. El objetivo de este trabajo fue caracterizar morfológicamente 115 genotipos de papa criolla (*Solanum tuberosum* grupos Phureja y Andígena) y conformar grupos fenotípicamente contrastantes. Se utilizaron 13 descriptores cuantitativos y 38 cualitativos, cuyos datos se sometieron a los Análisis de Componentes Principales (ACP) y de Correspondencias Múltiples (ACM), respectivamente. Los cuatro primeros factores del ACP explicaron el 65,48% de la variabilidad total en el grupo Phureja y el 85,69% en Andígena. El ACM en Phureja indicó que los primeros cinco factores explican un 26,31% de la variabilidad total;

-
1. Ing. Agrónomo, candidata a Dr. Grupo de Investigación en Producción de Frutales Andinos, Universidad de Nariño (UDENAR), Ciudadela Universitaria Torobajo, 520008, Pasto, Nariño, e-mail: danitaan@gmail.com, dandraded@unal.edu.co, <https://orcid.org/0000-0001-7579-4739>
 2. Ing. Agrónomo, Ph.D. Universidad de Nariño, Facultad de Ciencias Agrícolas, Grupo de Investigación en Producción de Frutales Andinos GPFA. San Juan de Pasto, Nariño, Colombia, e-mail: tclagosb@udenar.edu.co, <https://orcid.org/0000-0001-9222-4674>

mientras que, en Andígena, el mismo número de factores explicó un 33,6%. Los grupos obtenidos del ACP en Phureja fueron tres. El primero conformado por 35 genotipos de plantas vigorosas y baja reproducción sexual. El segundo formado por dos genotipos con plantas de porte bajo y, el tercero con 22 individuos con características sobresalientes en cuanto a reproducción. La variabilidad presente en Phureja está relacionada con características de tallo y fenología; mientras que, en Andígena, la variabilidad está relacionada con características fenológicas. Se encontró una alta diferenciación de los grupos en cuanto a colores de pedicelo, estigma, cáliz, simetría de cáliz, forma de los lóbulos del cáliz, forma del estigma, descriptores que pueden ser indicadores de variabilidad genética.

Palabras clave: clúster, descriptores, diversidad, clasificación, variabilidad.

4.2 Abstract

The ignorance of the genetic variability in the traits of agronomic importance in the work collections is a limitation in the progress of the plant breeding of a species. The objective of this work was to morphologically characterize 115 native potato genotypes (*Solanum tuberosum* Phureja and Andígena groups) and form phenotypically contrasting groups. Thirteen quantitative and 38 qualitative descriptors were used, the data of which were subjected to Principal Component Analysis (PCA) and Multiple Correspondence (MCA), respectively. The first four PCAs explained 65.48% of the total variability in the Phureja group and 85.69% in Andígena. The MCA in Phureja indicated that the first five factors explain 26.31% of the total variability; while, in Andígena, the same number of factors explained 33.6%. The groups obtained from the CPA in Phureja were three. The first one conformed by 35 genotypes of vigorous plants and low sexual reproduction. The second formed by two genotypes with short plants and the third with 22 individuals with outstanding traits in terms of reproduction. The variability present in Phureja is related to stem traits and phenology; while, in Andígena, the variability

is related to phenological characteristics. A high differentiation of the groups was found in terms of pedicel colors, stigma, calyx, calyx symmetry, calyx lobes shape, stigma shape, descriptors that can be indicators of genetic variability.

Keywords: cluster, descriptors, diversity, classification, variability.

4.3 Introducción

La caracterización morfológica de los recursos fitogenéticos es la valoración de un conjunto de caracteres o descriptores definidos que permiten diferenciar taxonómicamente a las plantas. Algunos caracteres pueden ser altamente heredables, fácilmente observables y expresables en la misma forma en cualquier ambiente. Las características morfológicas se utilizan para estudiar la variabilidad genética, para identificar plantas y para conservar los recursos genéticos. Por lo tanto, la caracterización morfológica es el primer paso en el mejoramiento de los cultivos y programas de conservación, no solo porque permite describir el germoplasma, sino también porque se logra su clasificación (Hernández Villarreal, 2013). En este sentido, para aprovechar los recursos genéticos, es conveniente evaluar, documentar y conservar cada variedad local o introducida por su origen filogenético y atributos agronómicos, dado que la evaluación del germoplasma considera la existencia de discrepancias genéticas entre poblaciones y la información generada como producto de la evaluación agro morfológica es relevante, porque permite identificar o descubrir caracteres que pueden ser útiles para mejorar las variedades mejoradas o tradicionales y evitar duplicados, erosión genética, pérdida y cambios a lo largo del tiempo (Burgos May *et al.*, 2004; Paxi *et al.*, 2020).

La diversidad de especies cultivadas para la agricultura y la alimentación es uno de los principales recursos para aumentar la producción de alimentos y es la materia prima para el mejoramiento genético de una especie cultivada. La diversidad entre y dentro de las especies vegetales usadas como alimento se conoce como recursos fitogenéticos para la alimentación y la agricultura (Arzate *et al.*, 2019). Esta diversidad es producto de miles de años

de cruzamientos espontáneos o dirigidos, y ha generado miles de variedades en papa (*Solanum tuberosum*) y otros cultivos adaptados a diferentes condiciones de suelo y clima, con características nutricionales, gustos, colores y texturas ajustadas a las preferencias de la gente que las cultiva y consume (Frison *et al.*, 2008; Tierno, 2017).

Por otro lado, la identidad genética que tienen los seres vivos para definirlos como únicos se basa en la diversidad entre poblaciones y dentro de especies, dicha diversidad al ser manejada para programas de conservación manifiesta respuestas diferenciales en proporción de su heterogeneidad genética, lo cual es la base metodológica para dichos programas (Alba Landa *et al.*, 2008). A la hora de estudiar la papa, es necesario conocer la morfología de distintas colecciones, dado que cada una de ellas se destaca por sus características morfológicas, es decir, forma y pigmentación de hojas, forma y color de tallos, color y forma de flores, presencia o no de pubescencia en los tallos, forma de los frutos, tamaño-forma y color del tubérculo (Tibán Leica, 2012).

La caracterización morfológica permite conocer la fenología, la biología reproductiva y la estructura genética de la especie, lo cual contribuye a establecer el nivel de variabilidad genética que contiene la colección estudiada y el potencial que presentan algunos de los materiales genéticos de ser incorporados a un programa de mejoramiento genético (Guerrero Pinilla *et al.*, 2011). El mejoramiento depende de la disponibilidad y uso estratégico de la diversidad genética (Villota Cerón *et al.*, 2012).

La caracterización basada en descriptores morfológicos se limita al fenotipo, lo cual constituye una limitante para los procesos de mejoramiento y conservación del germoplasma (Gordones Rojas *et al.*, 2019). El conocimiento de la diversidad y de las relaciones genéticas entre los genotipos de papa, es una herramienta valiosa para las estrategias de mejoramiento del cultivo. En la actualidad, se dispone de una serie de métodos para el análisis de estos fenómenos en líneas de mejoramiento y poblaciones segregantes.

Estos métodos se basan principalmente en datos de pedigrí, datos morfológicos, de rendimiento agronómico, datos bioquímicos y moleculares basados en el ADN (Khan *et al.*, 2013).

Para llevar a cabo una caracterización morfológica se utilizan descriptores cualitativos y cuantitativos que son fáciles de observar y evaluar; de esta forma, se tiene una lista de variables con diferentes estados o caracteres considerados importantes y útiles (Martínez Reinoso, 2009). Los descriptores permiten una forma factible para discriminar entre los fenotipos y ordinariamente son caracteres altamente heredables que pueden ser fácilmente detectados a simple vista y se expresan de manera semejante a través de ambientes (Ligarreto, 2003; Hernández Villarreal, 2013).

Los descriptores de una especie vegetal se seleccionan con base en características cualitativas y cuantitativas, de los cuales se conocen su variabilidad dentro y entre plantas. Los estados de un descriptor, son los diferentes valores que puede asumir a través de un valor numérico, una escala, un código o un adjetivo calificativo, estos deben ser fácilmente observables, tener una alta acción discriminante y baja influencia ambiental (Gómez, 2000; Abadie y Berreta, 2001; Orihuela, 2018). En papa en estudios realizados a nivel internacional, nacional y regional, se ha encontrado un alto nivel de variación en los descriptores porcentaje de emergencia, fecha de floración, altura de la planta (cm), número de hojas por planta, número de folíolos laterales, forma de hoja, área foliar media, número de flores por planta, número de tallos por planta, número de frutos por planta, contenido de materia seca, el número de tubérculos y número medio de ojos (Khan *et al.*, 2013; Anoumaa *et al.*, 2016; Cadima *et al.*, 2017; Orihuela, 2018; Gordones *et al.*, 2019; Rosero *et al.*, 2020).

Acorde con lo anterior, este trabajo se realizó con el objeto de caracterizar, con base en descriptores morfológicos cualitativos y cuantitativos, la colección de trabajo de la Universidad de Nariño de papa criolla (*Solanum tuberosum* grupos Phureja y Andígena)

y clasificarla en grupos contrastantes acorde con su variabilidad fenotípica.

4.4 Materiales y métodos

Este trabajo de investigación se llevó a cabo en la Granja Experimental Botana de la Universidad de Nariño, ubicada en el municipio de Pasto (Nariño) a una altitud de 2820 msnm, 01°09'12"LN y 77°18'31"LO. Se utilizaron 115 genotipos de *Solanum tuberosum*, de los cuales, 59 son del grupo Phureja y 56 son del grupo Andígena. En el Anexo 4.1, se muestran los datos de pasaporte de los genotipos caracterizados.

Con base en los descriptores morfológicos descritos para papa (*Solanum tuberosum* spp *tuberosum*) por Mackay *et al.* (1985) y otros autores como Huaman *et al.*, (1977), Gómez (2000), Huaman (2008), Kawochar & Uddin (2015), se construyó una lista de descriptores con categorías multiestado, los cuales se listan en el Anexo 4.2. La toma de la información se realizó en plantas sanas propagadas a partir de tubérculos y en plena floración (superior al 75%). En cada órgano se tomaron 10 registros. Los datos de los descriptores de hojas se obtuvieron de la porción media del tallo principal.

Con estos datos se obtuvo la moda para las variables cualitativas y el coeficiente de variación (CV) para las variables cuantitativas. Aquellas variables que obtuvieron un CV igual o superior al 25% se sometieron al Análisis de Componentes Principales (ACP). Para las características cualitativas que presentaron diferentes modalidades, se utilizó el método de Análisis de Correspondencias Múltiples (ACM). Tanto para el ACP y el ACM, se hizo el Análisis de Clasificación Jerárquico. Los análisis se realizaron con el paquete estadístico SPAD (Système Portable pour l'Analyse de Données), versión 3.5 (Bécue Bertaut Mónica & Valls, 2021).

4.5 Resultados y discusión

Análisis de Componentes Principales (ACP) Grupo Phureja.

Las variables cuantitativas que presentaron coeficientes de variación (CV) mayores o iguales al 25% y por lo tanto, incluidas en el ACP, fueron madurez fisiológica (MF), cubrimiento del follaje (CBF), altura de planta (AP), número de tallos primarios (NTP), hábito de ramificación (HR), grosor de tallo (GT), ángulo de divergencia entre la hoja y el tallo (ADHT), duración de la floración (DF), número de flores por inflorescencia (NFI), ramificación de la inflorescencia (RI), longitud del pedúnculo (LP), diámetro de la flor (DF) y número de frutos (NF). El ACP (Tabla 4.1), permitió establecer que los primeros cuatro factores o componentes, explicaron el 65,48% de la variabilidad total del grupo Phureja, por lo tanto, la información de la variabilidad total de la población estudiada se puede resumir en estos cuatro Componentes Principales (CP).

Tabla 4.1. Valores propios de los Componentes Principales que explican la variabilidad de la colección del grupo Phureja caracterizada en el departamento de Nariño.

Número	Valores Propios	Porcentaje	Porcentaje acumulado
1	3,71	28,56	28,56
2	1,95	15,00	43,56
3	1,59	12,24	55,79
4	1,26	9,69	65,48

El primer CP abarca el 28,56% de la variabilidad y está determinado principalmente por las variables CBF con una correlación variable-CP ($r_{CBF-CP1}$) de 0,73, AP ($r_{AP-CP1} = -0,64$), DF ($r_{DF-CP1} = -0,72$), RI ($r_{RI-CP1} = -0,80$) y LP ($r_{LP-CP1} = -0,77$) (Tabla 4.2). Estas variables están relacionadas con características de planta y flor. Desde el punto de vista productivo, este factor es de gran importancia, dado que representa variables relacionadas con el tamaño y reproductividad de la planta.

Tabla 4.2. Correlación de las variables cuantitativas con los cuatro primeros componentes principales (CP) del ACP en papas del grupo Phureja caracterizadas en el departamento de Nariño.

Variables	Correlación variables-CP			
	CP1	CP2	CP3	CP4
Madurez fisiológica - MF	0,29	-0,09	0,53	-0,34
Cubrimiento del follaje - CBF	0,73	-0,58	0,02	0,14
Altura de planta - AP	0,64	-0,63	0,10	0,24
Número de tallos primarios - NTP	0,07	-0,59	0,58	-0,23
Hábito de ramificación - HR	-0,22	-0,47	-0,44	-0,16
Grosor de tallo - GT	0,09	-0,02	0,43	0,41
Ángulo de divergencia entre hoja y tallo - ADHT	0,14	0,00	-0,09	0,87
Duración de la floración - DF	-0,72	-0,05	0,43	0,11
Número de flores por inflorescencia - NFI	-0,80	-0,39	0,10	0,09
Ramificación de la inflorescencia - RI	-0,80	-0,27	-0,14	0,13
Longitud del pedúnculo - LP	-0,77	-0,25	0,18	0,02
Diámetro de la flor - DF	0,22	-0,49	-0,47	-0,18
Número de frutos - NF	-0,41	-0,33	-0,32	0,03

El CP2 explica el 15% de la variabilidad total y estuvo conformado principalmente por CBF ($r_{\text{CBF-CP2}} = -0,58$), AP ($r_{\text{AP-CP2}} = -0,63$) y NTP ($r_{\text{NTP-CP2}} = -0,59$). Las variables que más aportaron a la conformación del tercer factor, que explica el 12,24% de la variabilidad total, fueron MF ($r_{\text{MF-CP3}} = 0,53$) y NTP ($r_{\text{NTP-CP3}} = 0,58$) (Tablas 4.2).

Por último, el CP4 representa el 9,69% de la variabilidad de la colección *S. tuberosum* grupo Phureja, conformado principalmente por la variable ADHT ($r_{\text{ADHT-CP4}} = 0,87$) (Tablas 4.2).

Análisis de Clasificación con base en variables cuantitativas grupo Phureja. El Análisis de Clasificación permitió agrupar a los individuos en tres clases o clúster definidos por su afinidad intra-grupal y por sus diferencias intergrupales (Tabla 4.3, Figura 4.1).

Tabla 4.3. Descripción de cinco cluster de papas criollas del grupo Phureja caracterizadas con base en variables cuantitativas.

Variables	MC	MG	DEC	DEG
CLÚSTER 1/3; Peso = 35; Participación = 59,32%				
CBF	58,96	48,47	10,10	15,54
AP	70,67	61,14	11,89	15,51
NF	3,93	4,54	1,58	2,15
LP	6,83	8,05	1,17	2,26
DF	30,38	43,37	8,15	22,31
RI	9,34	12,51	3,02	5,16
NFI	7,92	10,36	2,29	3,90
CLÚSTER 2/3; Peso = 2; Participación = 3,39%				
CBF	16,06	48,47	2,19	15,54
NTP	2,85	5,81	0,35	1,33
AP	23,28	61,14	1,51	15,51
CLÚSTER 3/3; Peso = 22; Participación = 37,29%				
NFI	13,88	10,363	2,597	3,904
DF	62,687	43,372	20,227	22,312
LP	9,838	8,049	2,092	2,261
RI	16,19	12,508	2,924	5,159
NF	5,448	4,542	2,341	2,148
AP	51,974	61,139	8,467	15,509
CBF	37,632	48,468	9,819	15,536

MC = Media de Clúster; MG = Media General; DEC = Desviación Estándar de Clúster; DEG = Desviación Estándar General.

El clúster uno estuvo conformado por 35 genotipos, los cuales representan el 59,32% de la colección del grupo Phureja (Tabla 4.3). Este grupo se presentó un promedio superior en CBF (58,96cm²) y en AP (70,67cm), comparado con el promedio general de 48,47cm y de 61,14cm, respectivamente. Además, presentaron valores inferiores en NF (3,93 frutos), LP (6,83 cm), DF (30,38 días), RI (9,34 inflorescencias) y NFI (7,92 flores) (Tabla 4.3, Figura 4.1). Por esta condición, se puede definir a este grupo de plantas vigorosas y de baja reproducción sexual, dado que posee condiciones desfavorables para la obtención de semillas sexuales.

El grupo dos lo conforman dos genotipos que representan el 3,39% de los recursos genéticos de papas del grupo Phureja (Ta-

bla 4.3). Este grupo presentó promedios inferiores al general en las variables CBF (16,06cm), número de tallos principales - NTP (2,85 tallos) y AP (23,28cm), comparado con el promedio general que fue de 48,47cm, 5,81 tallos y 61,14cm, respectivamente. Estos datos, permiten destacar a este grupo por poseer características de una planta de porte bajo.

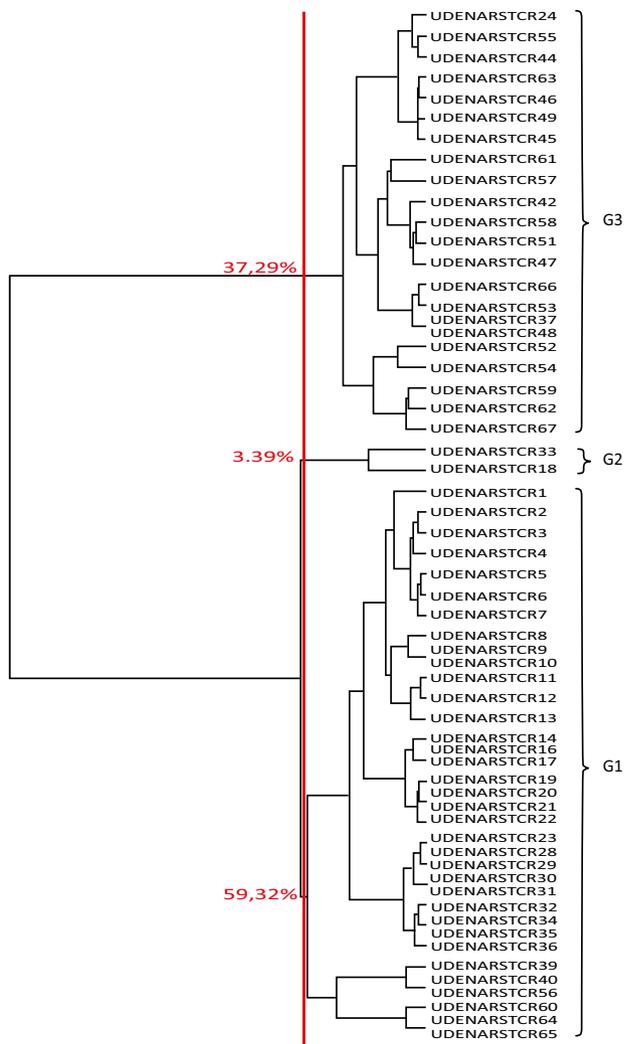


Figura 4.1. Dendrograma del Análisis de Clasificación Jerárquico con base en el ACP de papas criollas del grupo Phureja caracterizadas en el departamento de Nariño.

La clase tres estuvo conformada por 22 individuos (Figura 4.1) que representan el 37,29% de la población evaluada. Los genotipos pertenecientes a este grupo se caracterizan por presentar mayores promedios respecto al promedio general en las variables NFI (13,88 flores), DF (62,69 días), LP (9,84 cm), RI (16,19 ramificaciones), NF (5,45 frutos), además de presentar menores promedios que el promedio de la población en AP (51,97cm) y CBF (37,63cm²). Este grupo puede caracterizarse como proflífico en sus órganos reproductivos.

Análisis de Correspondencias Múltiples (ACM) grupo Phureja. El análisis descriptivo de las variables cualitativas se muestra en el Anexo 4.3. Se puede observar que, en cuanto a las características generales de planta, predominaron aquellas con hábito de crecimiento erecto y semi-erecto (C2=1; 22 individuos y C2=2 20 individuos), con estolones de longitud media de cinco a siete cm (C3=2; 43 individuos) y con unión de estolones de categoría media (C4=2; 50 individuos).

En cuanto a características de tallo, los colores principales más frecuentes fueron los contenidos en 5GY de la tabla Munsell (1975) que son 5/4, 5/6, 5/8 y 5/10 y corresponden a tallos verdes (C5=5; 12 genotipos; C5=1, C5=2 y C5=7; 11 genotipos en cada categoría), el color secundario de mayor frecuencia fue el 5RP (C6=5, 35 individuos). Predomina la forma angular (C7=2; 51 genotipos) del tallo con alas rectas y angostas, así como onduladas y angostas (C8=2 y C8=4; 18 genotipos cada categoría) (Anexo 4.3, Figura 4.2).

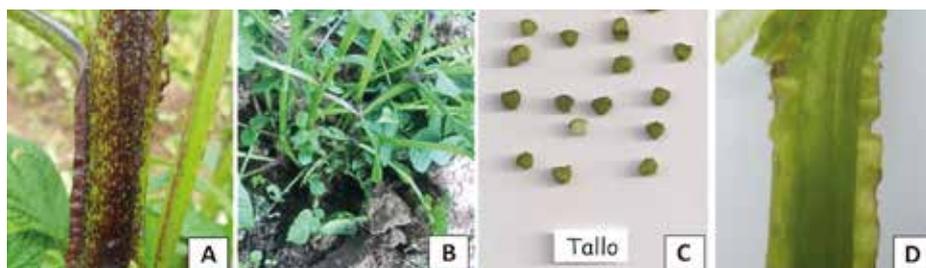


Figura 4.2. Características sobresalientes en el tallo de genotipos de papa criolla (*S. tuberosum* grupo Phureja). A. Tallo de color primario 5GY y color secundario 5RP 6/8, B. Ramificación, C. Forma angular, D. Alas onduladas y angostas.

En las características morfológicas de hojas, las categorías que se destacan en el color 5GY (Munsell, 1975) son 4/2, 4/4, 4/6 y 4/8 para el haz y 6/2, 6/4, 6/6, 7/4, 7/6 y 7/8 para el envés de hoja (C9=3; 28 genotipos y C10=4; 29 genotipos). Se presentan hojas glabras con tricomas muy dispersos (C11=1; 49 genotipos), con tres pares de folíolos laterales primarios (C12=2; 38 genotipos), ausencia de inter-hojuelas o folíolos insertados en el raquis y de folíolos laterales secundarios sobre los peciólulos (C13=1; 22 genotipos y C14=1; 57 plantas), con folíolos terminales de forma anchamente elíptica (C15= 1; 35 individuos), con folíolos laterales primarios muy sobrepuestos (C16=5; 54 plantas), de acumen largo en el ápice del folíolo terminal (C17=1; 31 genotipos), de forma desigual o asimétrica de la base del folíolo terminal (C18=6; 40 individuos) y el primer folíolo lateral con forma anchamente elíptica (C19=1; 54 plantas) (Anexo 4.3, Figura 4.3).

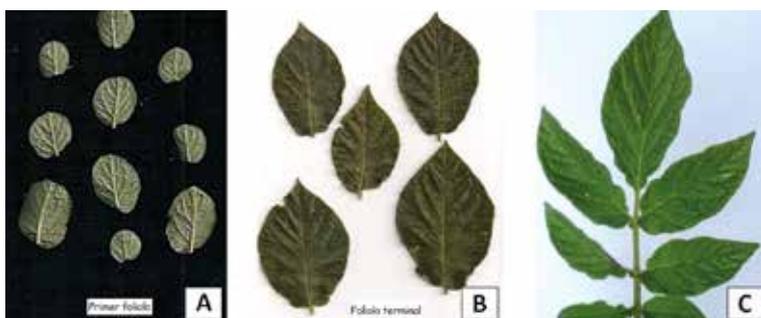


Figura 4.3. Características predominantes en hojas de genotipos de papa criolla (*S. tuberosum* grupo Phureja). A. Forma general de la hoja, C. Foliolo terminal, D. Foliolo primario lateral.

En cuanto a flores, sobresalen los genotipos de floración moderada con 6 a 13 inflorescencias (C20=4; 32 genotipos), con corola de forma rotada (C21=4; 23 individuos). El color primario de la corola (Munsell, 1975) en 5RP son frecuentes los colores 3/2, 3/4, 3/6, 3/8 y 3/10 (C22=2; 24 plantas), en los colores secundarios de la corola se destacan los colores de código 2.5R 4/4, 5GY7/2, 7.5GY8/2 y 7.5GY8/2 (C23=5; 19 individuos) distribuidos en bandas en el haz (C24=5; 33 genotipos).

En el pedicelo, se destacan los colores 5GY (C25=2; 29 genotipos), con ubicación baja de la articulación del pedicelo (C26=1; 52 individuos). En el color del cáliz se obtuvo la mayor frecuencia en colores 5RP (C27=2; 42 plantas). La mayoría de los cálices se caracterizan por tener un arreglo de los lóbulos simétricos (C28=1; 28 genotipos), y estos lóbulos tienen un tamaño intermedio con mucrón largo (C29=4; 34 individuos), de base con forma suavemente arqueada (C30=1; 59 genotipos), estigma capitado (C31=1; 48 genotipos), pistilo con morfología normal (C32=1; 59 plantas), pigmentados en el estigma, ovario y pared del ovario (C33=6; 35 individuos) y con formación normal del estambre (C34=1; 59 genotipos) (Anexo 4.3, Figura 4.4).

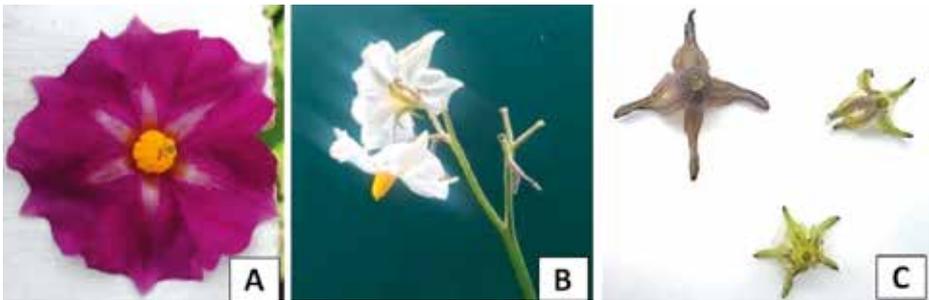


Figura 4.4. Características predominantes en flores de genotipos de papa criolla (*S. tuberosum* grupo Phureja). A. Forma y color predominante, B. muestra de aborto floral, C. Forma de cáliz.

En características relacionadas con frutos se destacan las categorías: de color verde con bandas moradas (C35=5; 32 plantas), siendo el color primario los contenidos en la página 5GY (C36=2; 45 genotipos), el secundario los de código 5RP (C37=3; 47 genotipos) y de forma ovoide (C38=2; 41 individuos) (Anexo 4.3).

El análisis del histograma de valores propios, permitió establecer que los primeros cinco factores explican en conjunto un 26,31% de la variabilidad debida a las variables cualitativas. Estos factores explican entre el 4,24 y el 6,73% de la variabilidad total (Tabla 4.4).

Tabla 4.4. Contribución porcentual de seis valores propios del ACM a la variabilidad de genotipos de papa criolla (*S. tuberosum* grupo Phureja) caracterizada en el departamento de Nariño.

Número	Valor propio	Porcentaje	Porcentaje acumulado
1	0,1937	6,73	6,73
2	0,1552	5,39	12,12
3	0,1467	5,10	17,22
4	0,1398	4,86	22,07
5	0,1219	4,24	26,31

Las variables que más contribuyeron a la conformación del factor uno fueron color del envés de la hoja (CE), forma base del foliolo terminal (FBFT), color general de los frutos (CF), color de frutos (CRF), color secundario de los frutos (CSF) y forma del fruto (FF). Las que más aportaron al factor dos fueron hábito de crecimiento de la planta (HC), color secundario de tallo (CST), pubescencias en hojas (PH), forma de la corola (FC), color predominante de la flor (CPF) y color de cáliz (CC). En el factor tres fueron color de tallo (CT), forma del foliolo terminal (FFT), forma del ápice del foliolo terminal (FAFT), forma del primer foliolo lateral (FPFL), color secundario de la flor (CS) y color del pedicelo (CP); mientras que el cuatro estuvo formado por las variables unión de estolones (UE), color del haz de la hoja (CHF) y grado de floración (GF). Finalmente, el factor cinco, estuvo definido por la forma de las alas del tallo (FAF) y la forma de los lóbulos del cáliz (FLC) (Tabla 4.5).

Los resultados indican que existe una alta diferenciación de los genotipos evaluados, determinada por las variables anteriormente descritas, las cuales a diferencia de las cuantitativas, que son el resultado de la interacción de factores bióticos y abióticos, son estables sin influencia del ambiente (Choque y Mena, 2019).

Análisis de Clasificación con base en variables cualitativas.

El Análisis de Clasificación con base en las características cualitativas de genotipos de papa criolla (*S. tuberosum* grupo Phureja) que conforman la colección de trabajo de la Universidad de Nariño,

permitió establecer cinco grupos (Tabla 4.6 y Figura 4.5). El primer grupo, conformado por 40 genotipos, representa el 67,79% de los individuos estudiados. Este grupo se caracteriza por presentar color primario de frutos codificados en la tabla Munsell (1975) de la pagina 5GY como 4/4, 4/6, 4/8, 5/4, 5/6, 5/8, 6/4, 6/4, 6/6, 6/8, 6/10, 7/4, 7/6, 7/8 y 7/10 (C36=2), color secundario de flor de la página 2,5Y colores 5/4, 5/6, 6/8, 7/4, 7/6, 7/8, 8/4 (C37=3), color secundario de tallo registrados en la página 5RP como 5/2, 5/4, 5/6, 5/8, 6/2 y 6/4 (C6=5) y distribución de pigmentación antocianinica en los frutos en forma de bandas moradas (C35=5) (Tabla 4.6).

Tabla 4.5. Contribución de las variables cualitativas de genotipos de papa criolla (*S. tuberosum* grupo Phureja) a la conformación de los primeros cinco factores del ACM.

Variables	Contribuciones de las variables a los Factores				
	1	2	3	4	5
Hábito de crecimiento de la planta (HC)	0,5	8,6	1,6	3,3	8,2
Unión de estolones (UE)	1,2	0,1	0,1	5,7	1,9
Color del tallo (CT)	3,5	4,2	6,4	2,6	4,0
Color secundario de tallo (CST)	2,8	5,6	3,1	1,0	5,4
Forma de las alas del tallo (FAF)	0,2	0,7	4,0	3,1	4,9
Color del haz de la hoja (CHF)	1,8	2,8	2,7	4,6	1,3
Color del envés de la hoja (CE)	8,2	1,3	4,2	1,7	3,4
Pubescencias en hojas (tricomas) (PH)	0,5	5,7	0,0	2,3	1,6
Forma del foliolo terminal (FFT)	0,4	0,9	4,7	1,3	2,5
Forma ápice del foliolo terminal (FAFT)	0,4	0,9	7,1	0,1	5,0
Forma base del foliolo terminal (FBFT)	5,7	2,5	3,1	1,5	2,2
Forma del primer foliolo lateral (FPFL)	0,7	0,9	5,9	1,0	4,9
Grado de floración (GF)	0,3	1,8	2,9	6,3	5,7
Forma de la corola (FC)	1,2	5,4	1,2	0,8	0,6
Color predominante de la flor (CPF)	0,8	8,5	0,0	2,5	0,7
Color secundario de la flor (CS)	2,5	4,3	5,1	3,8	1,4
Color del pedicelo (CP)	1,1	6,2	8,2	1,6	1,7
Color del cáliz (CC)	0,6	6,9	4,4	6,3	1,5
Forma de los lóbulos del cáliz (FLC)	1,0	2,3	4,6	1,7	5,1
Color general de los frutos (CF)	13,4	3,4	6,6	6,9	1,5
Color de los frutos (CRF)	13,5	2,2	4,2	8,2	7,1
Color secundario de los frutos (CSF)	13,1	2,7	3,2	6,8	4,0
Forma del fruto (FF)	13,1	0,5	1,7	4,1	7,0

Tabla 4.6. Descripción de los grupos o clases conformadas en el ACM de los genotipos de papa criolla (*S. tuberosum* grupo Phureja) caracterizados en el departamento de Nariño.

Variable	Categorías	Porcentajes	
		Categorías en grupos	Grupos en categorías
CLÚSTER 1/5; Número = 40; Porcentaje = 67,79%			
CRF	C36=2	82,22	94,87
CSF	C37=3	76,60	92,31
CST	C6=5	80,00	71,79
CF	C35=5	81,25	66,67
CLÚSTER 2/5; Número = 2; Porcentaje = 3,39%			
UE	C4=3	100,00	100,00
CS	C23=4	40,00	100,00
CLÚSTER 3/5; Número = 6; Porcentaje = 10,17%			
LE	C3=4	100,00	42,86
FAF	C8=2	33,33	85,71
HC	C2=2	30,00	85,71
CF	C35=4	30,00	85,71
CP	C25=3	28,57	85,71
CLÚSTER 4/5; Número = 8; Porcentaje = 13,56%			
CSF	C37=2	100,00	75,00
CRF	C36=3	100,00	62,50
CF	C35=6	100,00	50,00
NPIL	C13=3	80,00	50,00
CC	C27=4	75,00	37,50
FC	C21=5	50,00	50,00
CLÚSTER 5/5; Número = 2; Porcentaje = 5,08%			
FF	C34=0	100	100
CF	C35=0	100	100
CRF	C36=0	100	100
CSF	C37=0	100	100

El segundo grupo está formado por dos genotipos, que representan el 3,39% de los genotipos caracterizados (Tabla 4.6, Figura 4.5). Estos individuos se caracterizaron por presentar una débil unión de estolones (C4=3) y colores secundarios de flor de la página 5Y (Munsell, 1975) 5/4, 5/6, 6/2, 6/4, 6/6, 6/8, 7/2, 7/4, 7/6, 7/8, 8/2, 8/4, 8/6, 8/8 (C23=4). El tercer grupo (Tabla 4.6) estuvo conformado por seis genotipos que representan el 10,17%, que se caracterizan por tener estolones muy cortos (menos de 3cm;

C3=4), forma de alas de los tallos rectas y angostas (C8=2), hábito de crecimiento semi-erecto (C2=2), CF (C35=4) y colores de pedicelo de la página 5RP 4/2, 4/4, 5/2, 5/4, 3/2, 3/4, 3/6, 4/2, 4/4, 4/6, 5/2, 5/4 y 6/2 (C25=3).

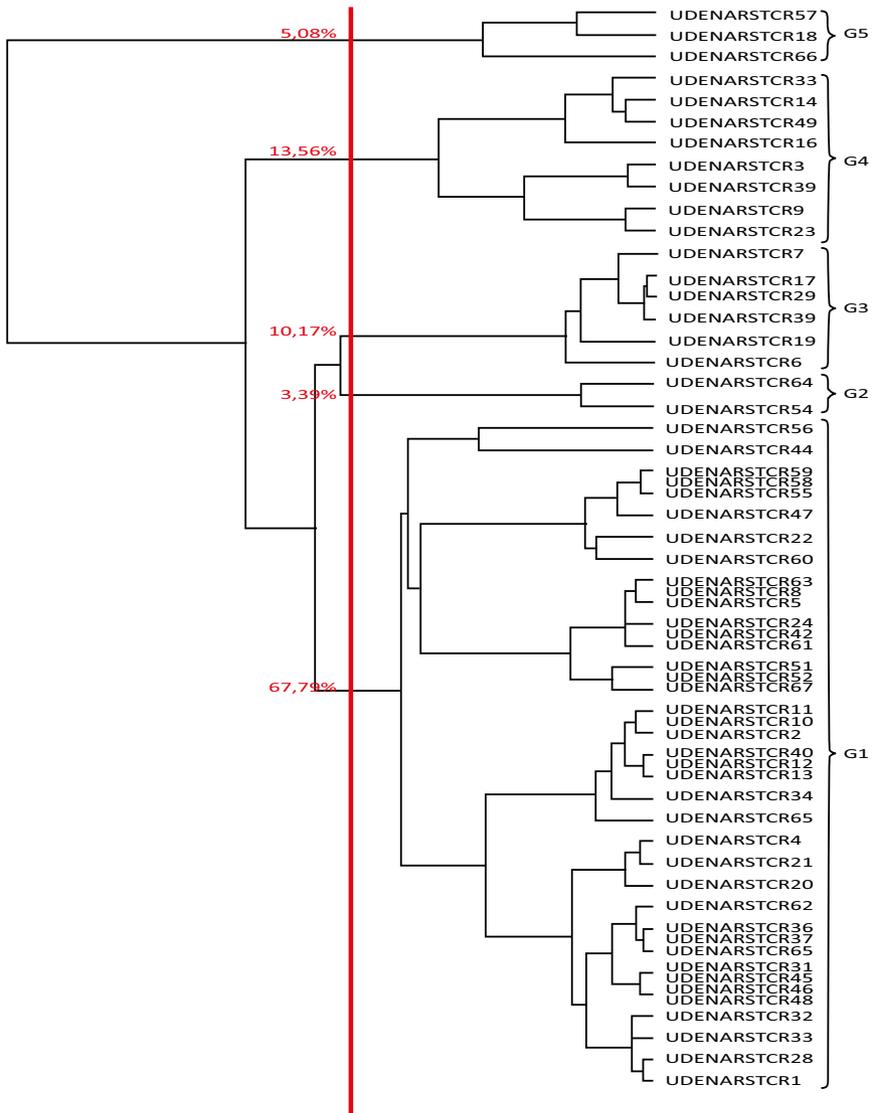


Figura 4.5. Dendrograma del Análisis de Clasificación Jerárquico con base en el ACM de genotipos de papa criolla (*S. tuberosum* grupo Phureja) caracterizados en el departamento de Nariño.

La clase cuatro (Tabla 4.6; Figura 4.5) estuvo conformada por ocho genotipos, (13,56%), los cuales presentan colores secundarios de fruto de la página 5GY 4/4, 5/6, 5/8 y 5/10 (C37=2), colores primarios del fruto de la página 5RP 3/2, 3/4 y 3/6 (C36=3), color de fruto predominantemente morado (C35=6), con tres pares de inter-hojuelas o foliolos insertados en el raquis (C13=3), color de cáliz de la página 5Y colores 6/6 y 7/6, página 2,5GY colores 5/8 y 8/4, página 5YR5/2 y página 7.5YR5/6 (C27=4) y forma de corola muy rotada (C21=5).

Finalmente, la clase cinco está conformada por el 5,08% de los individuos estudiados (dos genotipos). Este grupo se caracteriza por no haber formado frutos, por lo tanto, no se registraron datos en las variables forma de fruto (FF), color de fruto (CF), color primario (CRF) y secundario de fruto (CSF).

La alta variabilidad morfológica presente dentro de los genotipos de *S. tuberosum* grupo Phureja, está relacionada principalmente con características de tallos y fenología. En cuanto a las variables de la flor, estas son de gran importancia por cuanto se relacionan con el potencial reproductivo de una planta e indican la capacidad de una planta para producir frutos.

Se logró identificar una fuerte diferenciación de los grupos en cuanto a las variables continuas y discretas como cubrimiento de follaje, altura de planta, número de tallos principales, ramificación de la inflorescencia, número de flores por inflorescencia y número de frutos; mientras que en las cualitativas, los grupos se diferencian por las variables hábito de crecimiento, unión de estolones, color de tallo, color secundario de tallo, forma de las alas del tallo, color del haz de la hoja, color del envés de la hoja, pubescencias en las hojas, forma del foliolo terminal, de su ápice y base, color y forma de flor, así como por la presencia y ausencia de frutos y sus características. Sería interesante correlacionar estas variables a indicadores de diversidad o los componentes de rendimiento.

En el dendrograma con base en el ACP (Figura 4.1), los individuos que se encuentran más distantes dentro del grupo uno son UDENARSTCR01 y UDENARSTCR65 y dentro del grupo

tres, UDENARSTCR24 y UDENARSTCR62. En el Análisis de Clasificación Jerárquico de las variables cualitativas (Figura 4.5), los genotipos más distantes corresponden a UDENARSTCR01 y UDENARSTCR56. Con relación a los individuos de los grupos dos, tres, cuatro y cinco, estos deben ser conservados por cuanto se componen de un número pequeño de genotipos y se encuentran distantes del grupo uno.

Análisis de Componentes Principales (ACP) Grupo Andígena.

Las variables cuantitativas evaluadas por su alta variabilidad (CV > 25%) en genotipos del grupo Andígena fueron altura de planta (AP), número de tallos primarios (NTP), hábito de ramificación (HR), duración de la floración (DF), número de flores por inflorescencia (NFI), ramificación de la inflorescencia (RI), longitud del pedúnculo (LP) y número de frutos (NF).

El ACP de grupo Andígena permitió establecer un total de cuatro Componentes Principales (CP) con base en la contribución a la varianza total de los valores propios (Tabla 4.7). Estos cuatro CP explican el 85,69% de dicha varianza. El primer CP permite explicar el 49,43% de la variabilidad y, está conformado, principalmente, por la variable altura de planta (AP) con una correlación (r_{AP-CP1}) de 0,71, duración de la floración ($r_{DF-CP1} = 0,78$), número de flores por inflorescencia ($r_{NFI-CP1} = 0,85$), ramificación de la inflorescencia ($r_{RI-CP1} = -0,91$) y longitud del pedúnculo ($r_{LP-CP1} = 0,82$) (Tabla 4.8). La mayoría de estas variables están relacionadas con características de la flor.

Tabla 4.7. Valores propios del ACP de papas del grupo Andígena caracterizadas en el departamento de Nariño.

CP	Valores Propios	Porcentaje	Porcentaje acumulado
1	3,9547	49,43	49,43
2	1,2113	15,14	64,57
3	0,9255	11,57	76,14
4	0,7641	9,55	85,69

El CP2 explica el 15,14% de la variabilidad total y estuvo conformado principalmente por las variables número de tallos primarios ($r_{NTP-CP2} = 0,8$) y número de frutos ($r_{NF-CP2} = -0,71$). La variable que más aportó a la conformación del CP3, el cual permite explicar el 11,57% de la variabilidad total, fue el hábito de ramificación ($r_{HR-CP3} = -0,91$). El CP4 representa el 9,55% de la variabilidad de los recursos genéticos de *S. tuberosum* grupo Andígena, y estuvo conformado, principalmente por la altura de planta ($r_{AP-CP4} = -0,61$) (Tablas 4.7 y 4.8). La información proporcionada por el ACP permite establecer la representatividad de los caracteres morfológicos que están diferenciando los grupos conformados, los cuales al estar relacionados con el desarrollo de tallos, constituyen una fuente de información para la proyección de su rendimiento, puesto que estas variables hacen parte de los componentes de rendimiento de la papa.

Tabla 4.8. Correlación variable-factor de cada una de las variables sobre los cuatro primeros factores o componentes de variables cuantitativas de los recursos genéticos de papas del grupo Andígena caracterizados en el departamento de Nariño.

Variables	Correlación variables-CP			
	CP1	CP2	CP3	CP4
Altura de planta (AP)	0,71	0,06	-0,14	-0,61
Número de tallos primarios (NTP)	0,47	0,8	0,03	-0,2
Hábito de ramificación (HR)	0,34	0,06	-0,91	0,23
Duración de la floración (DF)	0,78	-0,07	0,03	-0,16
Número de flores por inflorescencia (NFI)	0,85	0,08	0,21	0,36
Ramificación de la inflorescencia (RI)	0,91	0,12	0,13	0,25
Longitud del pedúnculo (LP)	0,82	-0,2	0,12	0,17
Número de frutos (NF)	0,54	-0,71	-0,05	-0,2

Análisis de Clasificación con base en el ACP del grupo Andígena. El Análisis de Clasificación permitió clasificar a los individuos del grupo Andígena en tres clases o clústeres definidos por su afinidad intragrupal y por sus diferencias intergrupales (Tabla 4.9, Figura 4.6). El clúster uno estuvo conformado por 28 genotipos,

los cuales representan el 50% de los recursos genéticos de papas del grupo Andígena. Este se caracterizó por tener un promedio superior en número de frutos - NF (3,96 frutos) y en longitud de pedúnculo - LP (6,56cm) y un promedio inferior en número de tallos principales - NTP (3,34 tallos) (Tabla 4.9).

Tabla 4.9. Descripción de los grupos o clases conformadas en el ACP de los genotipos de papa criolla (*S. tuberosum* grupo Andígena) caracterizados en el departamento de Nariño.

Variables	MC	MG	DEC	DEG
CLÚSTER 1/3; Peso = 28; Participación = 28				
NF	3,964	2,473	1,647	2,123
LP	6,569	5,212	2,622	3,527
NTP	3,341	3,910	0,886	1,481
CLÚSTER 2/3; Peso = 13; Participación = 13				
NTP	5,821	3,910	1,179	1,481
RI	8,172	5,087	3,159	3,608
AP	51,873	40,816	12,255	13,172
DF	19,618	12,178	7,929	9,669
NFI	4,921	3,128	2,924	2,594
HR	4,685	3,379	3,360	2,275
CLÚSTER 3/3; Peso = 15; Participación = 15				
AP	28,799	40,816	8,765	13,172
NF	0,371	2,473	0,786	2,123
NFI	0,184	3,128	0,474	2,594
LP	1,192	5,212	2,150	3,527
DF	0,533	12,178	1,996	9,669
RI	0,382	5,087	0,739	3,608

MC = media de clúster; MG = media general; DEC = desviación estándar de clúster; DEG = desviación estándar general.

El clúster dos, lo conforman 13 genotipos que representan el 23,21% de los recursos genéticos de papas del grupo Andígena (Tabla 4.9, Figura 4.6). Este grupo presentó promedios superiores al promedio general de los genotipos evaluados en las variables

número de tallos principales - NTP (5,82 tallos), ramificación de la inflorescencia - RI (8,17 inflorescencias), altura de planta AP (51,87cm), duración de la floración - DF (19,61 días), número de flores por inflorescencia - NFI (4,92 flores) y hábito de ramificación (4,68 ramas). Estos datos, permiten destacar a este grupo, por poseer características de una planta de porte alta y buenas condiciones para la reproducción sexual (Tabla 4.9).

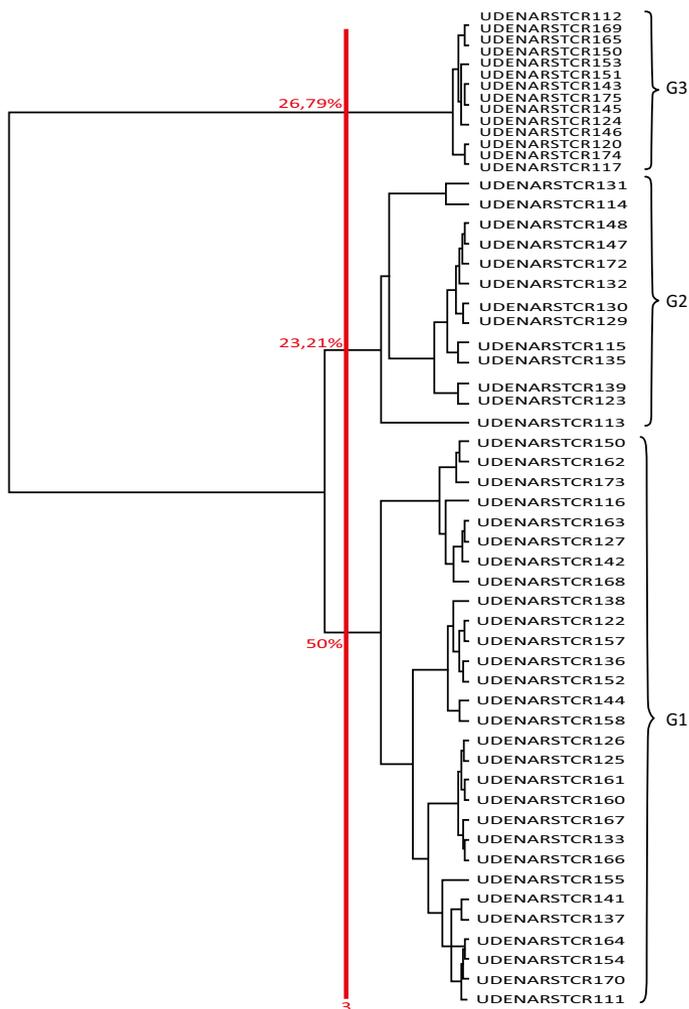


Figura 4.6. Dendrograma del Análisis de Clasificación Jerárquico con base en el ACP de genotipos de papa criolla (*S. tuberosum* grupo Andígena) caracterizados en el departamento de Nariño.

Análisis de Correspondencias Múltiples (ACM) grupo Andígena. El análisis descriptivo de las variables cualitativas del grupo Andígena, se muestra en el Anexo 4.4. Se puede observar que en características generales de planta, predominaron aquellas con hábito de crecimiento semi-erecto (C2=2 27 individuos), con estolones de longitud media de cinco a siete centímetros (C3=2; 53 individuos) y con unión de estolones de categoría media (C4=2; 50 individuos). Con relación a las características de tallo, los colores principales más frecuentes fueron los contenidos en la página 5RP colores 3/2, 3/4 y 3/6 (C5=7, 27 genotipos cada categoría), el color secundario de mayor frecuencia fue el 5RP (C6=5, 18 individuos). Predomina la forma angular del tallo (C7=2; 53 genotipos) con alas en el tallo onduladas y angostas (C8=4; 25 genotipos) (Anexo 4.4).

En las características morfológicas de hojas, las categorías que se destacan son la de color codificado (Munsell, 1975) en 5GY colores 4/2, 4/4, 4/6 y 4/8 para el haz y 7.5GY colores 4/4, 5/2 y 5/4 para el envés de hoja (C9=3; 168 genotipos y C10=5; 16 genotipos), de hojas glabras con tricomas muy dispersos (C11=1; 34 genotipos), con cuatro pares de folíolos laterales primarios (C12=3; 20 genotipos), ausencia de inter-hojuelas o folíolos insertados en el raquis y con cuatro o más folíolos laterales secundarios sobre los peciólulos (C13=1; 19 genotipos y C14=5; 33 plantas), con folíolos terminales de forma anchamente elíptica (C15= 1; 38 individuos), con folíolos laterales primarios muy sobrepuestos (C16=5; 27 plantas), de acumen corto en el ápice del folíolo terminal (C17=2; 30 genotipos), de forma desigual o asimétrico de la base del folíolo terminal (C18=6; 22 individuos) y el primero folíolo lateral con forma anchamente elíptica (C19=1; 45 plantas) (Anexo 4.4).

En flores, predominan los genotipos con escasa floración de uno a seis inflorescencias (C20=3; 36 genotipos), con corolas de forma semi-estrellada (C21=2; 21 individuos) de colores con tonos codificados (Munsell, 1975) en 5RP colores 3/2, 3/4, 3/6, 3/8 y 3/10 (C22=2; 20 plantas), en los colores secundarios de la corola se destacan los de 5Y códigos 5/4, 5/6, 6/2, 6/4, 6/6, 6/8, 7/2, 7/4,

7/6, 7/8, 8/2, 8/4, 8/6, 8/8 (C23=4; 26 individuos), distribuidos en bandas en el haz (C24=5; 25 genotipos).

En pedicelo, predominan los colores 5RP (C25=3; 38 genotipos), con ubicación baja de la articulación del pedicelo (C26=1; 36 individuos). En el color del cáliz, se obtuvo la mayor frecuencia en colores 5RP (C27=2; 41 plantas), la mayoría de cálices se caracterizan por tener un arreglo de los lóbulos del cáliz simétricos (C28=1; 42 genotipos), y estos lóbulos son cortos y con mucrón largo (C29=2; 17 individuos), de base con forma suavemente arqueada (C30=1; 42 genotipos), estigma clavado (C31=2; 24 genotipos), pistilo con morfología normal (C32=1; 43 plantas), pigmentados en el estigma, ovario y pared del ovario (C33=6; 18 individuos) y con formación normal del estambre (C34=1; 43 genotipos) (Anexo 4.4).

En características relacionadas con frutos se destacan las categorías de color verde con manchas moradas (C35=4; 11 plantas). El color primario corresponde a contenidos en la página 5GY (C36=2; 17 genotipos), y el secundario los contenidos en la página de código 5RP (C37=3; 24 genotipos). Prevalecen los frutos de forma ovoide (C38=2; 31 individuos) (Anexo 4.4).

El ACM permitió establecer que los primeros cinco factores explican un 33,60% de la variabilidad. El primer factor explica la mayor parte de la variabilidad con un 14,38%. Los demás factores contribuyen entre un 3,97 y 6,01% de la variabilidad (Tabla 4.10).

Tabla 4.10. Valores propios del ACM de papas del grupo Andígena caracterizadas en el departamento de Nariño.

Número	Valor propio	Porcentaje	Porcentaje acumulado
1	0,4820	14,38	14,38
2	0,2015	6,01	20,39
3	0,1589	4,74	25,13
4	0,1508	4,50	29,63
5	0,1330	3,97	33,60

Las variables que más contribuyeron a la conformación del factor uno fueron color secundario de la flor (CS), forma de los lóbulos del cáliz (FLC), forma del estigma (FEG), pigmento del pistilo (PP), color general de los frutos (CF), color de los frutos (CRF), color secundario de los frutos (CSF) y forma de fruto (FF).

Tabla 4.11. Contribución de las variables cualitativas de los primeros cinco factores del ACM de genotipos de papa criolla (*Solanum tuberosum* grupo Andígena) caracterizados en el departamento de Nariño.

Variables	Contribuciones a los Factores				
	1	2	3	4	5
Longitud de estolones (LE)	0,0	0,8	4,4	0,1	0,0
Color del tallo (CT)	1,0	4,5	2,2	2,9	4,3
Color secundario de tallo (CST)	0,7	4,4	4,9	3,2	4,4
Forma de las alas del tallo (FAF)	0,3	6,1	2,5	5,6	7,9
Color del haz de la hoja (CHF)	0,8	2,1	2,6	7,5	6,4
Color del envés de la hoja (CE)	0,8	1,2	2,6	6,7	6,3
Pares de folíolos laterales primarios (NPFL)	0,3	5,9	3,9	0,8	4,3
Pares de inter-hojuelas (NPIL)	1,2	7,3	2,5	6,2	1,7
Sobreposición de los folíolos laterales primarios (SFLP)	0,3	5,0	3,1	2,9	0,9
Forma ápice del Foliolo Terminal (FAFT)	1,8	6,1	1,4	0,4	1,7
Forma base del foliolo terminal (FBFT)	0,3	6,7	0,2	2,4	5,8
Forma del primer foliolo lateral (FPFL)	1,2	6,4	3	1,9	4
Color predominante de la flor (CPF)	5,2	1,0	1,0	5,8	0,3
Color secundario de la flor (CS)	5,2	1,2	2,7	0,6	2,1
Distribución del color secundario (DCSF)	4,9	2,3	5,8	1,4	0,4
Color del pedicelo (CP)	4,1	4,4	4,4	1,6	3,3
Ubicación de la articulación del pedicelo (AUP)	5,2	1,2	5,2	2,7	0,5
Color del cáliz (CC)	5,2	4	8,8	1,2	1,5
Simetría del cáliz (SCZ)	5,3	3,3	7,8	0,2	0,2
Forma de los lóbulos del cáliz (FLC)	5,3	0,3	0,9	2,4	0,8
Forma del estigma (FEG)	5,3	1,5	4,3	7,6	3
Pigmento del pistilo (PP)	5,3	0,1	0,1	2,0	0,1
Color general de los frutos (CF)	5,3	0,2	1,8	1,6	1,1
Color de los frutos (CRF)	5,1	0,0	0,1	0,0	0,0
Color secundario de los frutos (CSF)	5,3	3,4	6,2	7,8	2,2
Forma del fruto (FF)	5,1	0,0	0,1	0,0	0,0

Las que más aportaron al factor dos fueron el color de tallo (CT), pares de folíolos laterales primarios (NPFL), pares de interhojuelas (NPIL), sobreposición de los folíolos laterales primarios (SFLP), forma ápice del foliolo terminal (FAFT), forma base del foliolo terminal (FBFT) y forma del primer foliolo lateral (FPFL). En el factor tres se destacan la longitud de estolones (LE), color secundario de tallo (CST), distribución del color secundario (DCSF), color del pedicelo (CP), ubicación de la articulación del pedicelo (AUP), color del cáliz (CC) y simetría del cáliz (SCZ); mientras que, en el cuarto factor, son el color del haz de la hoja (CHF), el color del envés de la hoja (CE) y color del envés de la hoja (CE). Finalmente, el factor cinco, la variable que más contribuyó en su formación fue la forma de las alas del tallo (FAF) (Tabla 4.11).

Análisis de Clasificación con base en el ACM. El Análisis de Clasificación basado en el ACM de los genotipos de papa criolla del grupo Andígena, permitió establecer cuatro grupos claramente diferenciados (Tabla 4.12; Figura 4.7).

Tabla 4.12. Descripción de los grupos o clases conformadas en el ACM de los genotipos de papa criolla del grupo Andígena caracterizados en el departamento de Nariño.

Variable	Categorías	Porcentajes	
		Categorías en grupos	Grupos en categorías
CLÚSTER 1/4; Número = 11; Porcentaje = 19,64%			
SFLP	C16=1	58,33	63,64
NPFL	C12=5	41,67	83,33
AUP	C26=1	100,00	33,33
FBFT	C18=2	50,00	60,00
GF	C20=4	33,33	80,00
UE	C4=1	33,33	80,00
FAFT	C17=1	66,67	44,44
CSF	C37=1	41,67	62,50
CLÚSTER 2/4; Número: = 2; Porcentaje = 3,57%			
CC	C27=3	100,00	100,00
AUP	C26=3	100,00	100,00
DCSF	C24=6	100,00	50,00

Caracterización morfológica de la colección de *Solanum tuberosum*
grupos Phureja y Andigena de la Universidad de Nariño

Variable	Categorías	Porcentajes	
		Categorías en grupos	Grupos en categorías
CLÚSTER 3/4; Número = 34; Porcentaje = 60,71%			
SFLP	C16=5	80,00	88,89
CC	C27=2	100,00	73,17
DCSF	C24=5	73,33	88,00
FE	C34=1	100,00	69,77
MP	C32=1	100,00	69,77
GF	C20=3	90,00	75,00
FPFL	C19=1	100,00	66,67
SCZ	C28=1	96,67	69,05
NPIL	C13=1	56,67	89,47
FAFT	C17=2	76,67	76,67
FBLC	C30=1	93,33	66,67
CSF	C37=3	63,33	79,17
CP	C25=3	86,67	68,42
CRF	C36=1	30,00	100,00
PP	C33=6	50,00	83,33
CHF	C9=2	26,67	100,00
FFT	C15=1	83,33	65,79
PH	C11=1	76,67	67,65
CLÚSTER 4/4; Número = 9; Porcentaje = 16,07%			
FLC	C29=0	100,00	100,00
FE	C34=0	100,00	100,00
PP	C33=0	100,00	100,00
FBLC	C30=0	100,00	100,00
SCZ	C28=0	100,00	100,00
CC	C27=0	100,00	100,00
FEG	C31=0	100,00	100,00
MP	C32=0	100,00	100,00
CPF	C22=0	91,67	100,00
CP	C25=0	91,67	100,00
FC	C21=0	91,67	100,00
AUP	C26=0	91,67	100,00
DCSF	C24=0	91,67	100,00
CSF	C37=0	91,67	91,67
CS	C23=0	100,00	63,16

Variable	Categorías	Porcentajes	
		Categorías en grupos	Grupos en categorías
FF	C38=0	100,00	63,16
CF	C35=0	100,00	63,16
CRF	C36=0	100,00	63,16
GF	C20=0	83,33	71,43

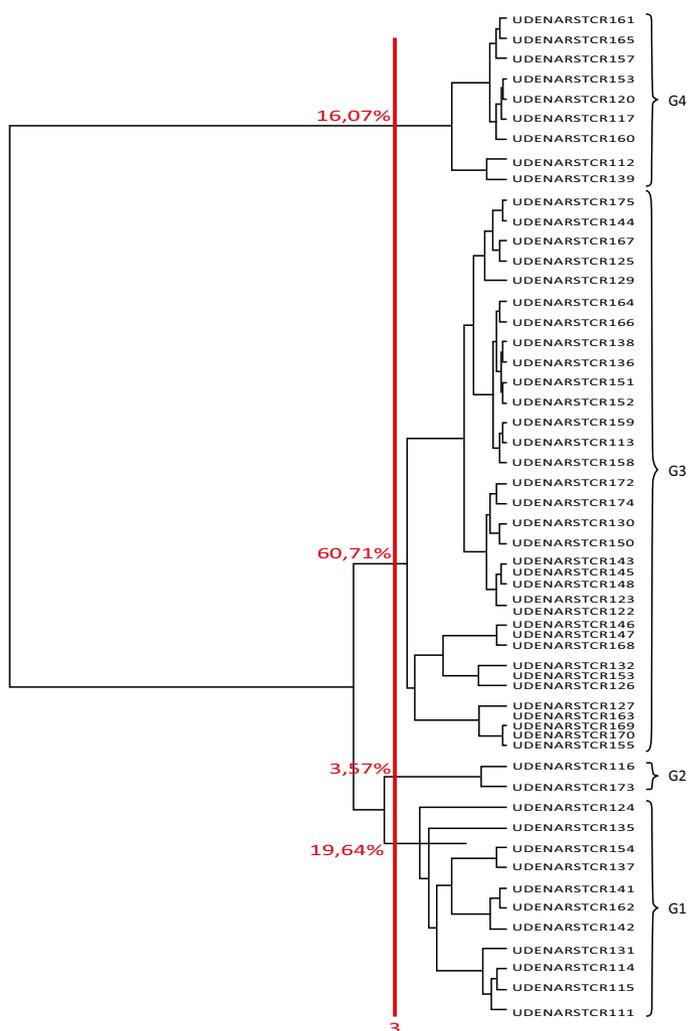


Figura 4.7. Dendrograma del Análisis de Clasificación Jerárquico con base en el ACM de genotipos de papa criolla (*S. tuberosum* grupo Andígena) caracterizados en el departamento de Nariño.

El primer grupo, conformado por 11 genotipos, representa el 19,64% de los individuos estudiados. Este se caracteriza por presentar foliolos laterales primarios muy separados (C16=1), seis pares de foliolos laterales primarios (C12=5), con baja proporción entre la longitud del pedicelo desde la base hasta la articulación (C26=1), con base cuneada y decurrente del foliolo terminal (C18=2), plantas de moderada floración (C20=4), fuerte unión de estolones (C4=1), de acumen largo en el ápice el foliolo terminal (C17=1) y con ausencia de frutos (C37=1) (Tabla 4.12).

El segundo grupo está conformado por dos genotipos que representan el 3,57% del total de la caracterización. Estos individuos se caracterizaron por presentar un color de cáliz de la página 5GY colores 3/4, 4/4, 5/6, 6/6 y 7/6 (C27=3), ubicación central de la articulación de pedicelo (C26=3) y distribución del color secundario de la flor en forma de bandas en el envés (C24=6) (Tabla 4.12).

El tercer grupo estuvo conformado por 34 genotipos que representan el 60,11% de los genotipos estudiados. Estos se caracterizan por presentar foliolos laterales muy sobrepuestos (C16=5), colores de cáliz 5RP 3/2, 3/4, 3/6, 4/2, 4/4 y 4/6 (C27=2), distribución del color secundario de la flor en forma de bandas en el haz (C24=5), formación normal del estambre (C34=1), morfología normal del pistilo (C32=1), de escasa floración (C20=3), el primer foliolo lateral con forma anchamente elíptica (C19=1), arreglo simétrico de los lóbulos del cáliz (C28=1), ausencia de pares de inter-hojuelas o foliolos insertados en el raquis (C13=1), de acumen corto en la forma del ápice del foliolo terminal (C17=2), base suavemente arqueada de los lóbulos del cáliz (C30=1), colores secundarios de los frutos 5RP 3/2, 3/4, 3/6, 4/4, 4/6, 5/2 y 5/6 (C37=3), colores del pedicelo 5RP 4/2, 4/4, 5/2, 5/4, 3/2, 3/4, 3/6, 4/2, 4/4, 4/6, 5/2, 5/4 y 6/2 (C25=3), colores primarios del fruto 2.5GY 5/4, 4/8, 5/6, 5/8, 7/6 y 7/8 (C36=1), estigma, ovario y pared del ovario pigmentados (C33=6), color haz de la hoja 5GY código 3/4 en el (C9=2), foliolos terminales anchamente elíptico (C15=1) y hojas glabras con tricomas muy dispersos (C11=1) (Tabla 4.12).

Finalmente, la clase cuarta estuvo conformada por nueve genotipos, que representa el 16,07% de la colección evaluada (Tabla 4.12). Estos se caracterizaron por no formar órganos florales ni fruto, por lo tanto, no se registraron datos en las variables relacionadas con la forma y color de las estructuras reproductivas, lo cual sugiere que deben estudiarse los factores climáticos que afectan la expresión de estas características en el grupo.

La alta variabilidad morfológica presente dentro del grupo Andígena, está relacionada principalmente con características fenológicas. Se logró identificar una fuerte diferenciación de los grupos en cuanto a las variables de colores de pedicelo, estigma, cáliz, simetría de cáliz, forma de los lóbulos del cáliz, forma del estigma, por lo tanto, sería interesante correlacionar estas variables con otras características de la planta para ser utilizados como indicadores de variabilidad genética en estudios de diversidad de papa (Choque y Mena, (2019). Los individuos que se encuentran más distantes dentro del grupo tres (Figura 4.7), son UDENARSTCR113 y UDENARSTCR175, los cuales contribuyen a la variabilidad dentro del grupo. Con relación a los individuos de los grupos uno, dos y cuatro, se puede afirmar que estos deben ser conservados por cuanto se agruparon de forma distante con el grupo tres.

Tanto para el grupo Andígena como Phureja (Figura 4.8) dentro de los caracteres morfológicos cuantitativos diferenciadores, se destaca la altura de planta (AP), cuyos valores promedios fueron similares a los alcanzados por Choque y Mena (2019), que registraron una AP de 43 a 60cm; sin embargo, superan los obtenidos por Luna *et al.* (2015) que encontraron promedios de 24,15cm a los 90 días y de 42,56cm a los 120 días y están por debajo de los reportados por Mamani *et al.* (2016), quienes reportaron una AP entre 72,18 y 79,7cm. Seminario *et al.* (2017) clasifican como plantas de porte bajo a aquellas con AP entre 56,5 y 94cm, valores mayores a los obtenidos en esta caracterización.

Otra característica destacada corresponde al número de tallos, la cual está correlacionada con el rendimiento, con el número de tubérculos y tamaño de tubérculos por planta (Lynch *et al.*, 2001). Por lo tanto, esta variable es un factor determinante para la producción y se ha clasificado dentro de los componentes de rendimiento de la papa (Porrás & Brenes, 2015; Contreras *et al.*, 2018).

En caracteres cualitativos se evidencia la importancia en la conformación de grupos con características relacionadas a los colores de los órganos evaluados, lo cual contribuye a la diferenciación de los grupos formados tanto en Andígena como Phureja. Cadima *et al.* (2017) mencionan que existen pocas diferencias entre accesiones de papa de los grupos Andígena, Ajanhuiri y Juzepczukii para caracteres como color de tallo, forma de la corola, color predominante de flor, intensidad del color predominante de la flor, color de cáliz y colores de baya. De estas, las más significativas son las variables de colores secundarios de la flor, distribución de la flor, grado de floración, forma y color. Esto concuerda con lo publicado por Reátegui *et al.* (2021) y por Rosero *et al.* (2020), quienes utilizaron estas variables para diferenciar genotipos de diferentes procedencias.

Choque y Mena (2019) destacan las variables color de tallo, color de flor y color de tubérculo para describir y diferenciar variedades de papa. Al igual que Gordones *et al.* (2019), quienes utilizaron los descriptores color primario de la flor, forma del tubérculo, color primario del tubérculo, color secundario del tubérculo, distribución del color secundario del tubérculo, color primario de la carne del tubérculo y profundidad de ojos para identificar variabilidad morfológica en genotipos de papa. Adicionalmente, Reátegui *et al.* (2019) destacan el color y pigmentación de tallo dentro de los caracteres morfológicos discriminantes en papa, especialmente las diferencias en tipos de pigmentaciones, distribución y forma, además de las variaciones encontradas desde el color verde, verde con muchas manchas pigmentadas, hasta color morado, marrón o rojizo, los cuales diferencian los contenidos de antocianinas que

pueden estar relacionados con otras características de la planta. Enfatizan también la presencia y variación de la forma de las alas de los tallos en el grupo Andígena, tal como se encontró en esta investigación en el grupo Phureja.



Figura 4.8. Características morfológicas generales de la colección de trabajo de papa criolla (*Solanum tuberosum* grupos Phureja y Andígena) de la Universidad de Nariño.

4.6 Conclusiones

La variabilidad morfológica presente dentro de los genotipos de papa criolla (*Solanum tuberosum* grupo Phureja), está relacionada principalmente con características de tallos y fenología. La variabilidad morfológica presente dentro de los genotipos de papa criolla (*Solanum tuberosum* grupo Andígena), está relacionada principalmente con características fenológicas. En esta investigación se logró identificar una fuerte diferenciación de los grupos en cuanto a colores de pedicelo, estigma, cáliz, simetría de cáliz, forma de sus lóbulos, forma del estigma. Se recomienda utilizar estas variables en estudios de diversidad de papa criolla.

4.7 Bibliografía del capítulo 4

- Abadie Tabaré & Berretta Ana. 2001. Caracterización y evaluación de recursos fitogenéticos. Pp 89-97. En: Berretta Ana y Rivas Mercedes. (Coordinadoras). Estrategia en recursos fitogenéticos para los países del Cono Sur. Argentina, Bolivia, Brasil, Chile, Paraguay, Uruguay, Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura, Programa Cooperativo para el Desarrollo Tecnológico Agroalimentario y Agroindustrial del Cono Sur – PROCISUR. 140p. <http://www.procisur.org.uy/adjuntos/plataforma-regional/21.pdf>; consulta: 24/04/2021.
- Alba Landa Juan, Mendizábal Hernández Lilia del C., Márquez Ramírez Juan. 2008. El mejoramiento genético forestal y las pruebas establecidas en Veracruz. Foresta veracruzana. v.10, n.1, p25-29. <https://www.redalyc.org/pdf/497/49711434003.pdf>; consulta: 24/04/2021.
- Anoumaa Mariette, Kanmegne Gabriel, Bertrand Kouam Eric, Sefu Amzati Gaston, Kouadio Yao Nasser, Fonkou Théophile, Desiré Mbouobda Hermann, Arslanoglu Funda, Ndoumou Omokolo Denis. 2016. Characterization of Potato (*Solanum tuberosum* L.) genotypes from the Western Highlands Region of Cameroon using morphological and agronomic traits. Journal of Plant Sciences. v.4, n.6, p185-194. doi: 10.11648/j.jps.20160406.17
- Arzate, A., Piña, J., Norman, T., Arroyo, H. 2019. Apuntes de Genética Vegetal. Universidad Autónoma del Estado de México. México, 162p.
- Bécue Bertaut Mónica & Valls i Marsal Joan. 2021. Manual de introducción a los métodos factoriales y clasificación con SPAD. Barcelona, Universitat Autònoma de Barcelona. 68p. <https://sct.uab.cat/estadistica/sites/sct.uab.cat/estadistica/files/manualSPAD.pdf>; consulta: 25/04/2021.
- Burgos May Luis A., Chávez Servia José L., Ortiz Cereceres Joaquín. 2004. Variabilidad morfológica de maíces criollos de la península de Yucatán. pp58-66. En: Chávez Servia José L., J.L. Chávez Servia, Tuxill, J., y Jarvis, D.I. (Editores). 2004. Manejo de la diversidad de los cultivos en los agroecosistemas tradicionales. Cali, Colombia, Instituto Internacional de Recursos Fitogenéticos. 255p. https://www.biodiversityinternational.org/fileadmin/_migrated/uploads/tx_news/Manejo_de_la_diversidad_de_los_cultivos_en_los_agroecosistemas_tradicionales_1068.pdf; consulta: 24/04/2021.
- Cadima, X., Veramendi, S., Angulo, A. 2017. Comparación de niveles de diversidad genética de papa entre Centros de Agrobiodiversidad y la Colección Nacional de Bolivia. Revista Latinoamericana de la Papa. v.21, n.1, p73-92.

- Choque, E. & Mena, F. 2019. Caracterización de la adaptabilidad de cuatro variedades de papa (*Solanum tuberosum*), introducidas en el Altiplano Centro del departamento de La Paz. *Revista de Ingeniería Agronómica*. v.5, n.3, p1660-1670.
- Contreras, G., Pulido, M., Perea, J., Barros, J., Barrionuevo, A. 2018. Análisis de caracteres componentes del rendimiento en cinco variedades de papa andina (*Solanum tuberosum* Ssp. Andígena). *Revista del CIZAS*. v.19, n.1 y 2, p16-27.
- Frison Emile, Fowler Cary, Snook Laura. 2008. Sostenibilidad de la diversidad y del intercambio de cultivos Nuevos mecanismos para asegurar el futuro del desarrollo agrícola. *Recursos Naturales y Ambiente*. 53, p9-19. https://www.researchgate.net/publication/237665248_Sostenibilidad_de_la_diversidad_y_del_intercambio_de_cultivos_Nuevos_mecanismos_para_asegurar_el_futuro_del_desarrollo_agricola1; consulta: 24/04/2021.
- Gordones Rojas, G., González, L., Osorio, M., Meneses, L. 2019. Diversidad genética de papas de comunidades Andinas Venezolanas, mediante caracterización morfológica, molecular y polínica. *Revista Latinoamericana de la Papa*. v.33, n.1, p3–13. <http://ojs.papaslatinas.org/index.php/rev-alap/article/view/373/366>; consulta: 25/04/2021.
- Guerrero Pinilla Jorge A., Campuzano Luis F., Rojas Salvador, Pachón García Jorge. 2011. Caracterización morfológica y agronómica de la Colección Nacional de Germoplasma de *Jatropha curcas* L Orinoquia. v.15, n.2, p.131-1. <http://www.scielo.org.co/pdf/rori/v15n2/v15n2a02.pdf>; consulta: 24/04/2021.
- Gómez Rene. 2000. Guía para las caracterizaciones morfológicas básicas en colecciones de papas nativas. Lima, Perú, Centro Internacional de la Papa. 28p. <https://www.researchgate.net/publication/267991711>; consulta: 25/04/2021.
- Gordones, R., González, L., Osorio, M., Meneses, L. 2019. Diversidad genética de papas de comunidades Andinas Venezolanas, mediante caracterización morfológica, molecular y polínica. *Revista Latinoamericana de la Papa*. v.23, n.1, p3-13.
- Hernández Villarreal, A.E. 2013. Caracterización morfológica de recursos fitogenéticos. *Revista Bio Ciencias*. v.2, n.3, p113-118. <https://core.ac.uk/download/pdf/26952733.pdf>; consulta: 24/04/2021.
- Huaman Zosimo. 2008. Systematic Botany and Morphology of the potato. Technical Information Bulletin 6. Lima, Perú, International Potato Center CIP. 22p. <http://cipotato.org/wp-content/uploads/2014/09/TIBen21132.pdf>; consulta: 25/04/2021.

- Huaman, Z., Williams, J.T., Salhuana, W., Vincent, L. 1977. Descriptors for the cultivated potato and for the maintenance and distribution of germplasm collections. Rome, Italy, Consultative Group on International Agricultural Research, International Board for Plant Genetic Resources. 50p. https://www.bioversityinternational.org/fileadmin/_migrated/uploads/tx_news/Descriptors_for_the_cultivated_potato_381.pdf; consulta: 25/04/2021.
- Khan M. Fareed, Tabassum Najma, Latif Anila, Khaliq Abdul, Malik Mansoor. 2013. Morphological characterization of potato (*Solanum tuberosum* L.) germplasm under rainfed environment. an Journal of Biotechnology. v.12, n.21, p3214-3223. doi: 10.5897/AJB11.4293
- Kawochar, M.A. & Uddin, M.J. 2015. Field data descriptor of potato (*Solanum tuberosum* L.). Bangladesh, Tuber Crops Research Centre, Bangladesh Agricultural Research Institute. Joydebpur. Gazipur 1701. 34p. https://www.academia.edu/34749236/Field_data_descriptor_of_potato_Solanum_tuberosum_L_pdf; consulta: 25/04/2021.
- Ligarreto Gustavo. 2003. Caracterización de germoplasma. En: Franco Tito L. & Hidalgo Rigoberto. (Eds.). Análisis Estadístico de datos de caracterización morfológica de recursos fitogenéticos. Boletín técnico No. 8. Cali, Colombia, Instituto Internacional de Recursos Fitogenéticos (IPGRI). 89p. https://www.bioversityinternational.org/fileadmin/_migrated/uploads/tx_news/An%C3%A1lisis_estad%C3%ADstico_de_datos_de_caracterizaci%C3%B3n_morfol%C3%B3gica_de_recursos_fitogen%C3%A9ticos_894.pdf; consulta: 24/04/2021.
- Luna, R., Espinosa, K., Trávez, R., Ulloa, C., Espinoza, A., Bejarano, A. 2015. Respuesta de variedades de papa (*Solanum tuberosum*, L) a la aplicación de abonos orgánicos y fertilización química. Nota Técnica en Ciencias Tecnológicas. v.9, n.1. p11-16.
- Lynch, D., Kozub, G., Kawchuk, L. 2001. The relationship between yield, mainstem number, and tuber number in five maincrop and two early-maturing cultivars. American Journal of Potato Research. v.78, p83-90.
- Mackay, G.R., Hijink, M., Mix, G. 1985, Minimum list of characteristics of potato varieties *Solanum tuberosum* spp *tuberosum*. Rome, IBPGR. 26. https://www.bioversityinternational.org/fileadmin/user_upload/online_library/publications/pdfs/186.pdf; consulta: 25/04/2021.
- Mamani, E., Morales, V., Ortuño, N. 2016. Aplicación de biofertilizantes foliares en el cultivar Huaycha (*Solanum tuberosum* subsp. Andígena) en los valles interandinos de Bolivia. Revista Latinoamericana de la Papa. v.20, n.2, p14-25.

- Martínez Reinoso Freddy Alfredo. 2009. Caracterización morfológica e inventario de conocimientos colectivos de variedades nativas (*Solanum tuberosum* L.) en la provincia de Chimborazo. Tesis Ing. Agr. Riombamba, Ecuador, Escuela Politécnica de Chimborazo. 207p. <http://dspace.esPOCH.edu.ec/bitstream/123456789/337/1/13T0630%20.pdf>; consulta: 24/04/2021.
- Munsell Color. 1975. Munsell Color Charts for Plant Tissues, Munsell Color, Macbeth North Calvert Street, Baltimore, MD, Division of Kollmorgen Corporation.
- Orihuela, E. 2018. Caracterización y evaluación agronómica de papas nativas en la estación experimental de patacamaya. Tesis de grado. Universidad Mayor De San Andrés, Facultad De Agronomía. La Paz, Bolivia. 161p.
- Porras, C. & Brenes, A. 2015. Calidad de los tubérculos y componentes de rendimiento de híbridos F1 de papa (*Solanum tuberosum*). Agronomía Costarricense. v.39, p37-46.
- Reátegui, K., Aguirre, N., Oliva, R., Aguirre, E. 2019. Fenología y rendimiento de cuatro variedades de papa en el Altiplano peruano. Scientia Agropecuaria. v.10, n.2, p265-279.
- Rosero, M., Tapie, W., Rosero, D. 2020. Diversidad fenotípica de papas nativas en las comunidades indígenas de la etnia de los Pastos (Nariño, Colombia): Agricultura ecológica para la seguridad alimentaria y el desarrollo rural. Revista peruana de biología. v.27, n.4, p509-516.
- Seminario, J., Seminario, A., Domínguez, Y., Escalante, B. 2017. Rendimiento de cosecha de diecisiete cultivares de papa (*Solanum tuberosum* L.) del grupo Phureja. Ciencias Agropecuarias. v.8, n.3, p181-191.
- Tibán Leica Luis Ricardo. 2012. Caracterización morfológica de diez entradas de papas nativas (*Solanum sp.*) del INIAP en el banco de germoplasma del jardín botánico Atocha-La Liria. Trabajo investigación Ing. Agr. Ambato, Ecuador. Universidad Técnica de Ambato, Facultad de Ingeniería Agronómica. 95p. https://repositorio.uta.edu.ec/bitstream/123456789/2216/1/Tesis_021agr.pdf; consulta: 21/04/2021.
- Tierno, R. 2017. Mejora genética de patata para compuestos bioactivos y capacidad antioxidante. Tesis de Doctorado. Universidad del País Vasco, Vitoria, España. 358p.
- Villota Cerón Diana, Bonilla Betancourt Martha Liliana, Carmen Carrillo Horacio, Jaramillo Vásquez Juan, García Dávila Mario Augusto. 2012. Caracterización morfológica de introducciones de *Capsicum* spp. existentes en el Banco de Germoplasma activo de Corpoica C.I. Palmira, Colombia. Acta Agronómica. v.61, n.1, p16-26. <http://www.scielo.org.co/pdf/acag/v61n1/v61n1a03.pdf>; consulta: 24/04/2021.



Capítulo

5

Selección de genotipos
de *Solanum tuberosum*
por su respuesta
al estrés hídrico

- *Danita Andrade-Díaz*¹
- *Tulio César Lagos-Burbano*²

5.1 Resumen

El estrés hídrico es uno de los factores limitantes del rendimiento y la calidad de tubérculos en el cultivo de papa. Las siembras se llevan con un nivel tecnológico reducido, con alta dependencia de la variación climática a lo largo del ciclo agrícola, la cual conlleva a prolongados períodos de sequía o de exceso de lluvia. El objetivo de este trabajo fue evaluar y seleccionar genotipos de papa por su respuesta a condiciones de déficit y exceso hídrico bajo condiciones de invernadero. Se evaluaron 115 genotipos bajo el Diseño de Parcelas Divididas. En la parcela principal se ubicaron los tratamientos capacidad de campo, déficit y exceso hídrico. En la subparcela, los genotipos. Las variables evaluadas fueron índice de concentración de clorofila, potencial hídrico, conductancia estomática, área foliar, materia seca de hoja, contenido relativo de

-
1. Ing. Agrónomo, candidata a Dr. Grupo de Investigación en Producción de Frutales Andinos, Universidad de Nariño (UDENAR), Ciudadela Universitaria Torobajo, 520008, Pasto, Nariño, e-mail: danitaan@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0001-7579-4739>
 2. Ing. Agrónomo, Ph.D. Universidad de Nariño, Facultad de Ciencias Agrícolas, Grupo de Investigación en Producción de Frutales Andinos GPFA. San Juan de Pasto, Nariño, Colombia, e-mail: tclagosb@udenar.edu.co, <https://orcid.org/0000-0001-9222-4674>

agua, conductividad eléctrica, materia seca total y de tubérculo, índice de cosecha (IC), peso de tubérculo, número de estolones y tubérculos por planta. En un primer ensayo, se seleccionaron 20 genotipos que obtuvieron los mayores índices de selección y rendimientos (0,63g/planta). Estos se evaluaron en una segunda fase. Para tolerancia a déficit hídrico, los genotipos seleccionados fueron 65, 112, 125, 124 y 175, y para exceso 135, 49, 33, 153 y 65, los cuales superaron al promedio general en el IC, lo cual permite sugerir que estos genotipos tienen mayor capacidad de respuesta a períodos de estrés hídrico y son una alternativa para su uso en programas de fitomejoramiento que busquen genotipos tolerantes a estreses hídricos.

Palabras clave: capacidad de campo, déficit, exceso, agua, rendimiento, tolerancia,

5.2 Abstract

Water stress is one of the limiting factors of yield and tuber quality in potato crops. Planting is carried out at a reduced technological level, with high dependence on climatic variation throughout the agricultural cycle, which leads to prolonged periods of drought or excess rainfall. The objective of this work was to evaluate and select potato genotypes for their response to water deficit and excess conditions under greenhouse conditions. In the first trial, 115 genotypes were evaluated under the split-plot design. In the main plot, field capacity, water deficiency and excess water treatments were located. In the subplot, the genotypes. The traits measured were chlorophyll concentration index, water potential, stomatal conductance, leaf area, leaf dry matter, relative water content, electrical conductivity, total and tuber dry matter, harvest index (HI), tuber weight, number of stolons and tubers per plant. In this trial, 20 genotypes were selected that obtained the highest selection indices and yields (0.63g/plant). These genotypes were evaluated in a second phase. For tolerance to water deficit, the genotypes selected were 65, 112, 125, 124 and 175, and

for excess 135, 49, 33, 153 and 65, which exceeded the general average in the CI, suggesting that these genotypes respond better to periods of water stress and are an alternative for use in plant breeding programs that seek genotypes tolerant to water stress.

Keywords: field capacity, deficit, excess, water, yield, tolerance.

5.3 Introducción

Los efectos del cambio climático en la producción de cultivos son diversos a nivel mundial, se pueden producir incrementos de producción por efecto de una mayor tasa de asimilación fotosintética y reducción del consumo de agua y nitrógeno, en especial en cultivos C3 como la papa (*Solanum tuberosum* L), pero son más las consecuencias negativas por el aumento de estrés hídrico y térmico (sequías y temperaturas mínimas elevadas), por el aumento en la severidad e incidencia de plagas, enfermedades y malezas competidoras, lo que eliminaría cualquier ganancia fisiológica y expondría a los cultivos a pérdidas frecuentes (Ritter *et al.*, 2017).

Acorde con lo anterior, la mayoría de las variedades tradicionales de papa no están adaptadas a los nuevos regímenes de cultivo provocados por el cambio climático, condiciones que hacen disminuir la productividad e incluso perder la producción de papa en muchos lugares (Ritter *et al.*, 2017). En este contexto y considerando la importancia socioeconómica del cultivo de la papa, varios estudios en Alemania han demostrado que la baja tolerancia a la sequía se evidencia en la disminución de la producción del cultivo debido a que el agua tiene importancia fisiológica en procesos, tales como la asimilación de CO₂, transformaciones bioquímicas y transmisión de impulsos desde y hasta los órganos fisiogénicos (Ehlers & Goss, 2016). Adicionalmente es considerado como uno de los cultivos en Inglaterra con mayor sensibilidad a la sequía debido a su sistema de raíces superficiales (Gregory & Simmonds, 1997).

Es así como en el año 2018 durante la 28th Congreso de la Asociación Latinoamericana de la papa y el 10th Congreso mundial de

la papa, se evidencia que a nivel mundial durante los últimos años se han realizado investigaciones relacionadas con la búsqueda de alternativas que contribuyan a adaptar el cultivo de la papa a las condiciones del cambio climático. Por ello, el análisis de los efectos y respuesta de la plantas a estrés hídrico y la identificación de los rasgos de tolerancia es información básica, que se puede aprovechar en programas de mejoramiento genético tradicional para incrementar la productividad y la tolerancia a enfermedades y a estrés abiótico de cultivares de interés (Rodríguez, 2015).

De ese modo, estudios realizados en Chile, Colombia, Peru y Ecuador de los mecanismos fisiológicos de respuesta a estrés hídrico han permitido identificar algunas variables como indicadores de la expresión de tolerancia a sequía o como indicadores del efecto de la pérdida del estado hídrico óptimo, dentro de estas se destacan la respuesta del ajuste osmótico, la defensa antioxidante, el potencial hídrico foliar, el contenido relativo de agua, la tasa de fotosíntesis, la estabilidad de la membrana, la temperatura foliar, reducción del área foliar, la reducción del período de crecimiento (Teulat *et al.*, 2002; Robin *et al.*, 2003; Macarena & Sagredo, 2012; Rodríguez, 2015; Díaz, 2016) y la habilidad de las raíces para explorar el suelo en busca de agua para cumplir con las demandas de evapotranspiración de las plantas (Nguyen *et al.*, 2004). Mientras que, otros estudios sugieren las variables severidad, recuperación, grado de postrado, volumen de raíz, peso seco de raíz, longitud de raíz, eficiencia de uso de agua, peso y número de tubérculos como caracteres adecuados para la selección de clones con genes de resistencia a estrés hídrico por sequía (Gabriel *et al.*, 2012).

Así mismo, otros estudios realizados en Colombia plantean que la tolerancia en el cultivo de papa se debe al aumento temprano en el contenido de prolina, que permite hacer ajuste osmótico y tomar agua, de ese modo con la toma de agua junto con la rápida disminución en la conductancia estomática, se mantiene el estado hídrico y se presenta un estrés leve a moderado, además de

la respuesta antioxidante que mantiene el metabolismo celular funcional durante el período de estrés (Moreno, 2017).

Por otra parte, se han reportado que hay diferentes grados de tolerancia entre las variedades evaluadas, siendo las variedades silvestres las mejor adaptadas a estrés hídrico (Monneveux *et al.*, 2013). Por esta razón, es importante reconocer y aprovechar las potencialidades de las variedades nativas como fuente de genes de tolerancia a estrés hídrico, considerando que es necesario aportar a las regiones con la generación de conocimiento que permita identificar dichas características para que puedan ser usadas en futuros trabajos de mejoramiento genético tendientes a contribuir con la adaptación al cambio climático.

En consideración con lo anterior, el objetivo de este trabajo fue valorar la respuesta de 115 genotipos de papa criolla (*Solanum tuberosum* grupos Phureja y Andígena) a estrés hídrico por déficit y exceso bajo condiciones de invernadero.

5.4 Materiales y metodos

Localización. Este trabajo se realizó en dos fases en el invernadero de la Granja Experimental Botana de la Universidad de Nariño, ubicada en el municipio de Pasto (Nariño) a una altitud de 2820msnm, 01°09'12"LN y 77°18'31"LO, en suelos con un 3,49% de materia orgánica, un pH del suelo de 5,92 (ácido), alto contenido de fósforo (159 mg.kg⁻¹) y alto contenido de potasio (1,25 cmol carga.kg⁻¹).

Material vegetal. Para la primera fase se utilizaron 115 genotipos de papa *Solanum tuberosum* grupos Phureja y Andígena que conforma la colección de trabajo de papa de la Universidad de Nariño, de las cuales 76 provienen de la Colección Central Colombiana y 39 de la Universidad de Nariño; y 56 son del grupo Andígena y 59 del grupo Phureja (Anexo 4.1). Mientras que, para la segunda fase, se evaluaron 20 genotipos seleccionados por su valor superior del IS (índice de selección) obtenido del análisis de la información de la primera fase. La semilla necesaria para

ambas fases se obtuvo a partir de un proceso de multiplicación *in vitro* de meristemos de cada uno de los genotipos utilizando el medio de cultivo y protocolo sugerido por Rivera (2004). Los microtubérculos obtenidos fueron llevados a invernadero para la obtención de minitubérculos, los cuales posteriormente se multiplicaron en campo para la obtención de semilla que fue utilizada para la investigación.

Diseño experimental. En la primera fase, se utilizó el diseño de Parcelas Divididas con dos repeticiones. La unidad experimental estuvo formada por una parcela de dos plantas. Cada unidad experimental estuvo rodeada de un canal de 70cm de profundidad, para evitar el traslape de humedad entre parcelas. En la parcela principal se ubicaron los niveles de humedad, capacidad de campo, déficit y exceso hídrico y en las sub parcelas, los genotipos de papa. En la segunda fase, se utilizaron tres repeticiones con una planta por matera como unidad experimental. Para el diseño de los tratamientos, se determinó previamente las propiedades físicas del suelo como estructura, textura, capacidad de retención de agua y balance hídrico, medidas al interior del invernadero.

Niveles de humedad. De acuerdo con los resultados de la curva de retención de humedad, el contenido gravimétrico de agua en el suelo y evapotranspiración, se definió el tiempo de permanencia de los tratamientos. Para los tratamientos se instaló un sistema de riego por goteo. Los niveles de humedad, fueron:

Déficit hídrico (DH). Esta condición inició con el suelo a capacidad de campo (CC), la cual se consiguió llevando el suelo a saturación y posterior drenaje durante 24 horas. El contenido de agua en el suelo y su disponibilidad permaneció por debajo de CC. Esta se registró cada 12 horas con un tensiómetro Irrrometer 305623. La aplicación de este tratamiento, se realizó una vez el 90% de los genotipos emergieron hasta completar su ciclo fenológico.

Exceso hídrico (EH). El suelo permanece con valores de humedad superiores de CC hasta el punto de saturación total. Se siguieron las mismas directrices que en DH.

Capacidad de campo (CC). El suelo permaneció en CC, y al igual que en el tratamiento de déficit, se controló cada 12 horas con un tensiómetro Irrrometer 305623.

Variables evaluadas. Durante la primera fase, se evaluaron las siguientes variables:

Días a floración (DF). Es el número de días que transcurrieron desde la siembra hasta la aparición de la primera flor.

Altura de planta (AP). Se registró la longitud en cm desde la base de los tallos hasta el brote apical más alto. No se consideró la altura de las inflorescencias, si sobrepasaban el brote apical más alto.

Número de tallos (NT): se hizo el conteo del número de tallos primarios.

Contenido de clorofila total (ICC). Se tomó 1g de hojas frescas sin venas que fueron maceradas con nitrógeno hasta obtener un polvo muy fino. Todo el proceso se realizó con baja luminosidad. Del macerado y por triplicado se tomó 0,1g. En un tubo oscuro se adicionó 1,5 ml de acetona 80% v/v a -10°C y se colocó en vótex por dos minutos. Posteriormente, se centrifugó durante tres minutos a 10000pm y 4°C. Se extrajo el sobrenadante y se llevó a un frasco ámbar, el cual fue rotulado y cubierto con papel aluminio. Este procedimiento, se repitió hasta obtener lavados sin coloración verde. El sobrenadante quedó libre de materiales en suspensión. En algunos casos fue necesario filtrar o centrifugar (Melgarejo *et al.*, 2010). Posteriormente, se transfirió el sobrenadante recuperado a frasco ámbar, de aquí se llevó a un balón aforado de 10 ó 25ml con acetona 80% (v/v) fría. Luego se realizaron lecturas de absorbancia en el espectrofotómetro a longitudes de onda 663 y 647nm para la clorofila a y b, respectivamente. Si la absorbancia a 663nm superaba el valor de 0,600 se realizaba una dilución de 500µl de la muestra en 1ml de acetona al 80% (v/v), para medir la absorbancia nuevamente. El contenido de clorofilas y de carotenoides se registró como mg de clorofila por gramo de material vegetal. El blanco analítico fue acetona al 80% v/v.

Los valores de clorofila a, b y total, se obtuvieron teniendo en cuenta lo planteado por Lichtenthaler (1987):

$$\text{Clorofila } a = (12,25 \times A_{663nm}) - (2,79 \times A_{647nm})$$

$$\text{Clorofila } b = (21,5 \times A_{647nm}) - (5,1 \times A_{663nm})$$

$$\text{Clorofila } a + b = (7,15 \times A_{663nm}) - (18,7 \times A_{647nm})$$

Donde: A_{663nm} = absorbancia en longitudes de onda 663nm, A_{647nm} = absorbancia en longitudes de onda 647nm.

Acumulación de materia seca en follaje (MSH). Se recolectó el follaje de cada planta, se colocó en la estufa a 60°C durante 48 a 72 horas hasta alcanzar un peso constante. Luego, se obtuvo el peso seco, el cual se expresó en gramos (Rossouw y Waghmarae, 1995).

Potencial hídrico foliar (PtH). En cada planta se registró el potencial hídrico xilemático en la mañana 10am (PH10) y en horas de madrugada 2am (PH2). Las mediciones se realizaron con la cámara de presión tipo Scholander 0-100bar, modelo 1515D (PMS Instrument Company).

Contenido relativo de agua (CRA). Se calculó con base en lo propuesto por Ekanayake (1993) y se expresó en porcentaje:

$$CRA = \frac{PF - PS}{PT - PS}$$

Donde: PF = peso fresco, PS = peso seco, PT = peso turgente.

Para la obtención de la información se tomó un foliolo del tercio superior de la planta, se pesó la muestra en fresco, después se hidrató en una bandeja con agua destilada durante 12 horas en oscuridad y posteriormente, se registró el peso turgente, luego la muestra fue colocada en una estufa por 48 horas a 65°C hasta que llegó a un peso constante, se pesó y se obtuvo el peso seco (Ekanayake, 1993). Los datos fueron expresados en porcentaje.

Materia seca en tubérculos (MSt). Se pesó un tubérculo planta. Se seco a 80°C durante 72 horas hasta que llegó a un peso constan-

te. Con base en estos dos pesos, se calculó la MSt en porcentaje, emdiante la siguiente fórmula (Rossouw y Waghmarae, 1995):

$$MSt = \frac{PsTu}{PfTu} \times 100$$

Donde: MS= materia seca (%), PsTu = peso seco del tubérculo, PfTu = peso fresco del tubérculo.

Número de tubérculos por planta (NTP). Se contabilizó y registró el número de tubérculos por planta, tratamiento y repetición.

Rendimiento por planta (RTO). Se pesaron los tubérculos producidos por planta con el fin de obtener el RTO en gramos por planta.

En los 20 genotipos seleccionados y evaluados en maceteros, desde el momento de la siembra hasta la etapa de prefloración, el suelo se conservó en capacidad de campo registrando con la ayuda de tensiómetros. Cuando se alcanzó el 50% de prefloración en la población, se inició la aplicación de los tratamientos midiendo las siguientes variables en tres momentos, antes (cada variable conserva la misma sigla), durante (se le adiciona la letra “e” a la sigla de cada variable), el último día de estrés (se le adiciona la letra “f” a la sigla de cada variable o la palabra final) y después (se le adiciona la letra “d” a la sigla de cada variable) de someter los tratamientos a estrés. En las PtH, CRA y NTPP, se utilizó en la misma metodología de la primera fase. Además, se registraron las siguientes variables:

Días a emergencia (DAE). Se registró el número de días que transcurrieron desde el momento de la siembra hasta la aparición de los primeros brotes.

Índice de Concentración de Clorofila (ICC). Para realizar la lectura se usó el medidor de concentración de clorofila MC-100 Apogee Instruments. Se tomaron cinco puntos de medición en un foliolo ubicado en el tercio medio de la planta. El ICC se expresó en $\text{mg} \cdot \text{m}^{-2}$.

Conductancia estomática (CE). La variable se midió las 9:00am y 1:00pm. La lectura con el porometro de hoja SC^{-1} , el cual determina la presión de vapor y el flujo sobre la superficie de la hoja dada en $mmol\ m^{-2}\ s^{-1}$.

Área Foliar (AF). El AF fue determinada mediante la ecuación de $AF = 8,44 \times [3,182 \times (\text{largo} \times \text{ancho})]$ obtenida mediante el análisis de una muestra aleatoria de 100 láminas foliares tomadas del tercio medio de plantas de diferentes genotipos de papas criollas del grupo Andígena y Phureja. Por lo tanto, de cada genotipo evaluado se obtuvo el largo máximo desde la base del peciolo hasta el extremo del foliolo central y el ancho máximo de la parte más amplia de la lámina foliar y se contabilizó el número de hojas por cada genotipo.

Conductividad eléctrica (DCE). La estabilidad de la membrana se midió con base a la metodología descrita por Baji *et al.* (2002). Terminado el período de estrés de 20 días, se obtuvieron 3g de tejido foliar de cada tratamiento (capacidad de campo, sequía y exceso de humedad). Después de un lavado, se colocaron en recipientes de vidrio con 90ml de agua de ionizada. Se obtuvo el primer dato de conductividad eléctrica en este período (ECi). En seguida, las muestras se colocaron en un agitador por una hora para tomar la segunda lectura de conductividad eléctrica (ECf); posteriormente, se llevaron a una autoclave a $120^{\circ}C$ durante 30 min y se midió por tercera vez, la conductividad eléctrica total (ECt). Las lecturas se realizaron con un voltímetro PeakTech 3202 y se llevaron las unidades de ohmios a unidades siemens.

El daño a las membranas celulares fue expresado mediante el Índice de daño a las membranas (Id) (Flint *et al.*, 1967):

$$Id = \left[\frac{Rs - Rc}{1 - Rc} \right] \times 100$$

En muestras sometidas al estrés:

$$Rc = \frac{(ECf - ECI)}{(ECt - ECI)}$$

En muestras control:

$$R_c = \frac{(EC_f - EC_i)}{(EC_t - EC_i)}$$

Donde: EC_i = conductividad eléctrica inicial, EC_f = conductividad eléctrica final, EC_t = conductividad eléctrica total.

Materia seca foliar (MSH). Para la MSH se colectaron 5 o 6 hojas frescas. Cada hoja fue pesada y llevada al horno durante 24 horas a 70°C con el fin de conseguir un peso constante y registrar este valor para su cálculo final. Con el peso fresco de la hoja (PfH) y su peso seco (PsH), se obtuvo la MSH en porcentaje, así:

$$MSH = \frac{PsH}{PfH} \times 100$$

Materia seca total (MST). Se tomaron del follaje, raíces, flores, frutos y estolones de una sola planta. Se registró su peso fresco (PfT). Luego estas muestras se secaron a 90°C durante 48 a 72 horas, periodo en el cual se pesaban, hasta obtener un peso constante (PsT). La MST se expresó en porcentaje y se calculó con la siguiente fórmula (Rossouw y Waghmarae, 1995):

$$MST = \frac{PsT}{PfT} \times 100$$

Peso de tubérculos por planta (PTPP). En cada unidad experimental, se contabilizó y registró el peso de tubérculos por planta.

Materia seca de tubérculo (MStu). De cada unidad experimental, se tomó el peso fresco ($PfTu$) y seco ($PsTu$) en gramos de dos hojuelas centrales de un milímetro de grosor tomadas de dos tubérculos. El material se secó a 70°C por 72 horas hasta obtener un peso constante. La MStu, se expresó en porcentaje y se calculó con la fórmula de (Rossouw y Waghmarae, 1995).

Índice de cosecha (IC). Corresponde al porcentaje de rendimiento económico (tubérculos) con relación al rendimiento biológico

(planta completa). Este se determinó con la fórmula: $IC = [\text{Peso seco de tubérculos} / \text{Peso seco total de la planta (hojas, tallos, flores, frutos, estolones y tubérculos)}] \times 100$.

Número de estolones por planta (NE). En la época de cosecha, se contabilizó y registró el número de estolones por planta.

Peso de tubérculo (Ptu). De la unidad experimental, se tomaron 10 tubérculos al azar, se pesaron para obtener el peso promedio por tubérculo en gramos.

Número de tubérculos por planta (NtuPP). En la época de cosecha, se contabilizó y registró el número de tubérculos por planta.

Peso de tubérculos por planta (PTuPP). Se obtuvo el peso de NtuPP en gramos.

Peso de tubérculo (Ptub). Se calculó la relación del PTuPP y el NtuPP para obtener el Ptub.

El mantenimiento de las plantas para las dos fases se realizó acorde con recomendaciones técnicas de Pérez *et al.* (2008).

Análisis de la Información. Los datos para cada una de las variables de las dos fases se registraron en una base de Excel. Las variables evaluadas se sometieron al Análisis de Varianza (ANDEVA). Se utilizó el paquete estadístico SAS 9.4 (SAS Institute Inc. Cary. NC, 2009). En aquellas fuentes de variación donde se rechazó la hipótesis nula, se determinó que aquellos individuos que superaban a la media general más una vez el error estándar ($\mu + \sigma$) presentaban diferencias significativas con los demás genotipos a una alfa de 0,05.

Para seleccionar los 20 genotipos que se evaluaron en la fase dos, se aplicó un índice de selección (IS). Para establecer el IS, se tuvo en cuenta la tolerancia a estrés hídrico mediante la ecuación: $(CC \text{ vs } EH)/(CC \text{ vs } EH) = [(X_{IE}/X_{ICC}) / (\bar{X}_{IE}/\bar{X}_{ICC})]$, donde: X_{IE} = observación del genotipo estresado por exceso o déficit de humedad, X_{ICC} = observación del genotipo a capacidad de campo, \bar{X}_{IE} = promedio general del genotipo estresado, \bar{X}_{ICC} = promedio

general del genotipo a capacidad de campo por variable. Con estos datos, se estableció el IS, así:

$$\text{IS} = (\text{DF} \times -0,002) + (\text{NT} \times 0,05) + (\text{AP} \times 0,01) + (\text{PH2} \times 0,02) + (\text{PH10} \times 0,02) + (\text{ICC} \times 0,04) + (\text{CRA} \times 0,1) + (\text{MSH} \times 0,04) + (\text{MST} \times 0,06) + (\text{NTP} \times 0,1) + (\text{RTO} \times 0,8)$$

Donde: DF = días a floración, NT = número de tallos, AP = altura de planta, PH2 = potencial hídrico foliar 2am, PH10 = potencial hídrico foliar 10am, ICC = índice del contenido de clorofila, CRA = contenido relativo de agua, MSH = materia seca de follaje, MST = materia seca en tubérculos, NTP = número de tubérculos por planta, RTO = rendimiento por planta.

Para el IS de la segunda fase, se efectuó el Análisis de Regresión Múltiple con PROC REG STEPWISE SLENTY para determinar el coeficiente de cada variable estadísticamente significativa en el modelo para la predicción del rendimiento de cada genotipo. Finalmente, para cada carácter de las dos fases se calculó el valor medio, máximo, mínimo, y desviación estándar. Se realizó el Análisis de Correlación de Pearson para conocer las posibles relaciones existentes entre los caracteres. Estos análisis estadísticos se realizaron mediante el programa estadístico SAS 9.4 (SAS Institute Inc. Cary. NC).

Las variables que hicieron parte del IS de la segunda fase, fueron aquellas que tuvieron un efecto significativo en la interacción genotipo por nivel de humedad. Para seleccionar los cinco genotipos sobresalientes en déficit de humedad (CC vs DH), se estableció el IS, así:

$$\text{IS} = (\text{PtU} \times 1,03) + (\text{CEe} \times -0,09) + (\text{NTuPP} \times 5,18) + (\text{CRAfi} \times 0,55) + (\text{AFd} \times 1,73) + (\text{PtHf9} \times -561,19) + (\text{NEs} \times -5,10) + (\text{CE} \times 0,04) + (\text{ICCe} \times 0,94) + (\text{DAE} \times 2,47) + (\text{PtH9} \times -149,95) + (\text{PtHdu9} \times -261,43) + (\text{AF} \times 5,44) + (\text{DCEcon} \times 13,75) + (\text{MSTu} \times -2,09) + (\text{IC} \times -0,38)$$

Donde: IS= índice de selección, Ptu= peso de tubérculo, CEE= conductancia, estomática durante el estrés, NTuPP= número de tubérculos por planta, CRAf= contenido relativo de agua el último día de estrés, AFd= área foliar después del estrés, PtHf9= potencial hídrico foliar al último día de estrés, NEs= número de estolones por planta, CE= conductancia estomática antes del estrés, ICCe= índice de concentración de clorofila durante el estrés, DAE= días a emergencia, PtH9= potencial hídrico foliar antes del estrés, PtHd9= potencial hídrico foliar durante el estrés, AF= área foliar antes del estrés, DCECon= daño por conductividad eléctrica, MSTu= materia seca de tubérculo, IC= índice de cosecha.

Mientras que, para seleccionar los cinco genotipos sobresalientes en exceso de agua (CC Vs EA - EH), el IS, correspondió a:

$$IS = (ICCe \times 2,81) + (ICCFes \times -7,49) + (PtH9 \times 334,83) + (PtHdu9 \times 743,68) + (PtHf9 \times -164,75) + (CE \times -0,005) + (CEE \times -0,08) + (ICCd \times -1,91) + (PtHdes2 \times -302,65) + (CEd \times 0,05) + (DCECon \times -3051,07) + (MSt \times 5,26) + (MSTu \times 3,72) + (IC \times 2,14) + (NEs \times -1,32) + (Ptu \times 0,72) + (NTuPP \times 0,77) + (Ptub \times 0,81)$$

Donde: ICCe= índice de concentración de clorofila durante el estrés, ICCfes= índice de concentración de clorofila durante el estrés último día de estrés, PtH9= potencial hídrico foliar antes del estrés a las 9 am, PtHd9= potencial hídrico foliar durante el estrés a las 9 am, PtHf9= potencial hídrico en el último día de estrés a las 9 am, CE= conductancia estomática antes del estrés, CEE= conductancia estomática durante el estrés, ICCd= índice de concentración de clorofila después el estrés, PtHd2= potencial hídrico foliar durante el estrés a las 2 am, CEd= conductancia estomática después del estrés, DCECon= daño por conductividad eléctrica, MSt= Materia seca total, MSTu= materia seca de tubérculo, IC= índice de cosecha, NEs= número de estolones por planta.

5.5 Resultados y discusión

Análisis de Varianza primera fase (ANDEVA). En la Tabla 5.1 se presentan los cuadrados medios del ANDEVA, para las varia-

bles días a floración (DF), número de tallos (NT), Altura de planta (AP), potencial hídrico foliar 2am (PH2), potencial hídrico foliar 10 am (PH10), Índice de contenido de clorofila (ICC), contenido relativo de agua (CRA), acumulación de materia seca en follaje (MSH), acumulación de materia seca en tubérculos (MST), número de tubérculos por planta (NTP) y rendimiento por planta (RTO), evaluadas en 115 genotipos de papa criolla (*Solanum tuberosum* grupo Phureja y Andígena) que conforman la colección de trabajo de papa de la Universidad de Nariño bajo condiciones de estrés hídrico por déficit y exceso de humedad.

La MST fue la única variable que no presentó diferencias significativas entre los niveles de humedad evaluados. En genotipo y la interacción genotipo por humedad todas las variables presentaron diferencias significativas. Los DF a través de los niveles de humedad evaluados, osciló entre 39 a 118 días, con una media de 74,6 días. Se presentó una correlación positiva significativa entre AP y DF a través de los tres niveles de humedad (CC, EA y EH) con coeficientes de correlación de 0,60, 0,67 y 0,45 respectivamente. La AP también presenta una correlación negativa con CRA (-0,21) y en RTO (-0,24) para DH (Tabla 5.2). Resultados similares se obtuvieron en maíz, donde el rendimiento bajo niveles de estrés hídrico por déficit de humedad se correlacionó negativamente con el intervalo de floración. El intervalo de floración se incrementó debido a la sequía (Inzunza *et al.*, 2018). Además, presenta una correlación negativa con PH10 para el nivel de humedad EA (-0,37) y con CRA en EH (-0,21).

En trabajos de caracterización con dos clones de papa, a diferencia de lo encontrado en esta investigación, se observó relación entre altura de la planta con vigor de la planta, tamaño de la hoja, tamaño del segundo par de folíolos laterales y anchura en relación con la longitud del segundo par de folíolos laterales, observándose una correlación de 0,90, 0,62, 0,65 y 0,61, respectivamente (Quishpe & Andrade, 2017).

Tabla 5.1. Cuadrados medios del ANDEVA bajo el modelo de Diseño en Parcelas Divididas para 11 variables evaluadas en 115 genotipos de papa criolla (*Solanum tuberosum* grupo Phureja y Andígena) con tres niveles de humedad.

FV	GL	DF	AP	NT	ICC	MSH	PtH2
Bloque	1	189,1ns	82,6ns	0,002ns	0,19ns	1254,9ns	0,02*
Humedad (H)	2	1796,2*	1262,1*	16,1*	869,9*	24730,7*	0,02*
Error A	2	196,1ns	1490,6*	0,041ns	1,11ns	9,47ns	0,0004ns
Genotipo (G)	114	865,9*	1996,6*	10,2*	41,0*	1373,0*	0,02*
G*H	224	232,8*	679,4*	6,6*	23,3*	630,3*	0,02*
GL/CM Error		301/122,2	302/366,3	302/0,4	299/1,7	298/432,6	302/0,0003
Media		74,26	89,91	4,87	10,46	65,78	-0,32
R ²		0,79	0,76	0,95	0,96	0,71	0,99
CV (%)		14,88	21,29	13,28	12,32	30,78	5,13
FV	GL	PtH10	CRA	MST	NTP	RTO	
Bloque	1	0,02*	2,3ns	44,3ns	6,5ns	0,001ns	
Humedad (H)	2	0,8*	526,4*	220,1ns	1340,6*	2,3*	
Error A	2	0,001ns	2,8ns	20,7ns	0,6ns	0,001ns	
Genotipo (G)	102	0,03*	290,9*	140,7*	103,7*	0,2*	
G*H	204	0,03*	272,3*	133,4*	46,7*	0,1*	
GL/CM Error		302/0,001	297/2,2	292/85,1	292/3,2	292/0,001	
Media		-0,6	60,0	26,1	10,6	0,4	
R ²		0,98	0,99	0,66	0,96	0,99	
CV (%)		4,04	2,46	35,31	16,9	6,24	

R²= coeficiente de determinación, CV= coeficiente de variación, * = diferencias significativas ($\alpha=0,05$), ns = no existen diferencias significativas.

La AP se encuentra en un rango de 42 a 165,8cm con una media $89,8 \pm 23,6$ cm. Se presenta una correlación positiva con la variable PH10 en el nivel de humedad EH (0,33) y con ICC en los niveles de humedad EA (0,19) y EH (0,20) (Tabla 5.2). Esta relación directa entre AP e ICC, tal como lo afirmado por Liu *et al.* (2005), muestra que las condiciones de estrés hídrico disminuyen el crecimiento

de las plantas a través de una reducción de la fotosíntesis, siendo que la tasa fotosintética en muchos casos también se afecta por el contenido de clorofila (Obidiegwu *et al.*, 2015).

El número de tallos (NT) oscila entre uno y 19, con una media de $4,9 \pm 13,28$. El rendimiento de papa se puede definir como la suma del número de tallos, tubérculos y tamaño de estos por planta (Lynch *et al.*, 2001); por lo tanto, el NT es un factor determinante para la producción debido a que es una variable relacionada con el rendimiento de la planta (Santa Cruz, 2017), y se ha encontrado una alta correlación entre estas variables (Porrás & Brenes, 2015). Sin embargo, Seminario *et al.* (2017) afirman que esta variación depende del cultivar, del estado fisiológico del tubérculo de la semilla al momento de la siembra y de la densidad de plantación. No obstante, Bedogni *et al.* (2009) plantean que los genotipos del tratamiento control presentaron significativamente mayor altura que los tratamientos de sequía y con respecto al NT, no hubo diferencias significativas entre los tratamientos, pero sí las hubo entre los genotipos. Adicionalmente, esta variable presenta bajos valores de correlación significativa con la MSH para los niveles de humedad EA (0,35) y EH (0,24) y con la variable NTP para el nivel EH (0,19) (Tabla 5.2).

Según Núñez *et al.* (2009), los tallos laterales no se desarrollan cuando hay escasez de carbohidratos disponibles. En tal caso, el desarrollo y crecimiento es restringido. Por otro lado, a menos que las condiciones apropiadas se presenten, la formación de tubérculos no se iniciará, aún cuando la planta tenga suficientes asimilados disponibles para el crecimiento del tubérculo.

Los valores del ICC se encuentran entre 25,30 y $0,90 \text{mg} \cdot \text{m}^{-2}$ con una media de $10,46 \text{mg} \cdot \text{m}^{-2}$. Esta variable está relacionada con DF en EA (0,22), PH2 en EH (-0,21), con MSH en CC (-0,26), con EH (-0,28) y con MST en EA (0,30). Esto se debe a que la disminución de la fotosíntesis causada por el estrés hídrico generado por el déficit de humedad reduce el crecimiento de la planta, y afecta la materia seca total y la distribución de fotoasimilados dentro de las plantas (Chaves *et al.*, 2002; Lahlou *et al.*, 2003; Lim *et al.*, 2015).

Tabla 5.2. Correlaciones significativas de Pearson a un $\alpha = 0,05$ entre las variables DF, AP, PtH10, PtH2, ICC, CRA, MSH, MST, NT, NTP y RTO, evaluadas en 115 genotipos de papa criolla (*Solanum tuberosum* grupo Phureja y Andígena) y tres niveles de humedad.

Variabes	Humedad	AP	PtH10	ICC	CRA	MSH	MST	NTP	RTO
DF	CC	0,60	ns	ns	ns	ns	Ns	ns	ns
	EA	0,67	-0,37	0,22	ns	ns	Ns	ns	ns
	EH	0,45	ns	ns	-0,21	ns	Ns	ns	-0,24
NT	CC	Ns	ns	ns	ns	ns	Ns	ns	0,19
	EA	Ns	ns	ns	ns	0,35	Ns	ns	ns
	EH	Ns	ns	ns	ns	0,24	Ns	0,19	ns
PtH2	CC	Ns	ns	ns	Ns	ns	Ns	ns	ns
	EA	Ns	ns	ns	-0,33	ns	Ns	ns	ns
	EH	Ns	ns	-0,21	0,20	ns	Ns	ns	ns
AP	CC	1	ns	ns	Ns	ns	Ns	ns	0,18
	EA	1	ns	0,19	Ns	ns	Ns	ns	ns
	EH	1	0,33	0,20	Ns	ns	Ns	0,22	0,17
PtH10	CC		1	ns	0,25	ns	Ns	ns	ns
	EA		1	ns	ns	-0,27	Ns	ns	ns
	EH		1	ns	ns	ns	Ns	0,32	ns
ICC	CC			1	ns	-0,26	Ns	ns	ns
	EA			1	ns	ns	0,30	ns	ns
	EH			1	ns	-0,28	Ns	ns	ns
CRA	CC				1	ns	Ns	ns	ns
	EA				1	ns	Ns	ns	ns
	EH				1	-0,35	Ns	ns	ns
NTP	CC							1	0,61
	EA							1	0,58
	EH							1	0,70

ns= no significativa.

En la variable MSH, los datos obtenidos oscilaron entre 99,26 y 10,24% con una media de $65,78 \pm 30,78\%$. Esta variable, además de las correlaciones mencionadas anteriormente, tiene relación positiva con NT en EA y EH con coeficientes de 0,35 y 0,24, res-

pectivamente; mientras que, con la variable PtH10 en EA tiene una relación negativa de -0,27 y con CRA en EH de -0,35.

Los valores de PtH2 y PtH10 se encuentran entre -0,14 a -0,79bar y -0,24 a -0,96 bar con medias de -0,32 y -0,56bar, correspondientemente. Además de las relaciones que se han mencionado anteriormente, el PtH2 presenta una correlación significativa con CRA en EA (-0,33) y EH (0,20). La correlación con CRA en EH puede relacionarse con la disminución del potencial hídrico foliar como respuesta ante el déficit hídrico. Esto aumenta los niveles de ácido abscísico, que induce el cierre estomático como defensa contra el estrés (Lim *et al.*, 2015).

Para CRA, se obtuvieron diferencias significativas y presenta una media de $59,96 \pm 2,46\%$ en un rango entre 189,30 y 24,08%. La MST presentó un rango entre 122,59 y 8,63% con una media $26,11 \pm 35,31\%$. Las variables NTP con $10,58 \pm 16,9$ tubérculos y el RTO con $0,41 \pm 6,24g$ presentaron una correlación positiva en los tres niveles de humedad CC (0,61), EA (0,58) y EH (0,70) (Tabla 5.2). Según Agronet (2018), el rendimiento promedio nacional es de 15,25t/ha lo cual indica que algunos de los genotipos evaluados alcanzarían este promedio, por lo tanto, se podrían considerar en procesos de mejoramiento genético con base en su potencial productivo y otras características de importancia agronómica como resistencia a enfermedades.

En la Tabla 5.3 se presentan los promedios geométricos de las variables que componen el índice de selección (ISp) para los datos obtenidos en capacidad de campo versus déficit hídrico (CC vs DH) y en la Tabla 5.4 se presenta para el índice dentro de capacidad de campo versus exceso hídrico (CC vs EH).

En la variable DF para CC vs DH se alcanzaron diferencias significativas con los genotipos que obtuvieron los valores más altos, como son 112, 120, 143, 146, 150, 153 y 172 con un promedio de 107,56 días, el cual fue superior a 73,40 días de los 115 genotipos evaluados bajo esta condición de estrés hídrico; mientras que, en los 20 genotipos el promedio fue de 71,29 días (Tabla 5.3). En la misma variable, para CC vs EA, los mayores valores se registraron

en los genotipos 153, 112, 175, 150, 172 y 146 con un promedio de 107,46 días, superior a la media general de los 115 genotipos (75 días) y a la de los 20 mejores genotipos seleccionados (79 días) (Tabla 5.4). Fabricio *et al* (2020) reportan diferencias altamente significativas para genotipos evaluados a estrés hídrico, con 70 días y un coeficiente de variación de 8,9%, valor inferior a los obtenidos en esta investigación.

Tabla 5.3. Medias geométricas de las variables de 20 genotipos (Gen) de papa criolla (*Solanum tuberosum* grupos Phureja y Andígena) seleccionados en la interacción capacidad de campo por déficit hídrico (CC vs DH).

Gen	DF	NT	AP	PtH2	PtH10	ICC	CRA	MSH	MST	NTP	RTO	IS
135	70,9	4,7	91,2	0,3	0,4	8,4	59,2	69,2	27,9	18,4*	1,3*	3,9
8	54,5	5,0	73,4	0,3	0,6	8,7	61,0	63,8	22,3	16,2*	1,2*	3,1
111	91,5*	0,0	126,1*	0,4*	0,6	8,1	60,3	40,2	26,7	25,0*	1,1**	3,6
141	70,3	5,7	115,5*	0,3	0,4	5,8	52,5	56,7	26,8	18,6*	0,9**	2,8
125	44,5	6,5*	95,0	0,2	0,5	5,6	74,4*	76,2	24,6	14,8*	0,9*	1,9
65	69,5	3,6	90,4	0,3	0,8*	7,5	57,5	49,1	25,7	7,1	0,8*	3,0
49	65,0	7,3*	91,7	0,3	0,5	6,0	57,0	70,6	23,2	16,2*	0,8*	2,4
114	71,7	5,1	111,2*	0,3	0,6	7,2	54,3	40,4	25,1	10,4	0,7*	2,6
131	80,5	5,2	123,8*	0,3	0,6	6,2	57,1	56,7	26,0	14,9*	0,7*	1,3
22	76,0	4,7	73,4	0,3	0,7*	7,9	66,5	42,3	34,6*	11,4	0,7*	1,8
137	75,3	5,2	125,2*	0,3	0,5	16,1**	66,2	32,1	25,6	22,2*	0,7*	5,6
16	62,7	2,0	91,2	0,3	0,8*	11,6	66,4	42,8	25,1	4,1	0,6*	1,6
133	75,2	3,2	116,7*	0,4*	0,5	10,3	55,3	44,0	25,2	10,1	0,6*	3,5
162	81,7	4,3	133,5*	0,4*	0,5	7,2	62,8	48,3	23,4	14,1*	0,6*	6,0
9	56,7	7,1*	69,1	0,4*	0,6	7,81	60,2	59,0	24,2	16,7*	0,6	3,1
33	75,9	3,6	90,2	0,3	0,5	6,31	51,1	53,5	29,8	16,3*	0,6	1,8
112	104,0*	6,4*	116,2*	0,2	0,5	8,20	49,5	91,8*	22,8	7,6	0,6	1,5
4	48,7	5,3	66,9	0,4	0,5	9,48	66,8	59,2	18,2	11,8	0,6	4,8
132	80,5	5,2	116,9*	0,41**	0,60	12,29*	60,6	69,4	24,7	11,9	0,5	3,1
35	70,5	4,3	81,0	0,3	0,5	9,6	57,4	66,8	32,6*	10,4	0,5	2,6
μ	73,4	4,6	89,1	0,3	0,6	9,05	56,9	59,2	25,2	9,0	0,4	-
σ	14,5	1,4	20,8	0,07	0,1	2,7	12,7	18,6	5,9	4,7	0,2	-
$\mu+\sigma$	88,0	6,0	109,9	0,4	0,7	11,8	69,6	77,8	31,1	13,7	0,6	-
μ_{20S}	71,29	4,7	99,9	0,3	0,56	8,5	59,8	56,6	25,7	14,0	0,7	-

μ = media general de los 115 genotipos, σ = desviación estándar de los 115 genotipos, μ_{20S} = media de los 20 genotipos seleccionados, * = diferencias significativas ($\alpha=0,05$), IS = índice de selección.

Tabla 5.4. Medias geométricas de las variables de 20 genotipos (Gen) de papa criolla seleccionados (*Solanum tuberosum* grupos Phureja y Andígena) bajo la interacción capacidad de campo por exceso hídrico (CC vs EH).

Gen	DF	NT	AP	PtH2	PtH10	ICC	CRA	MSH	MST	NTP	RTO	IS
135	94,1*	4,4	105,9	0,3	0,5	12,0	65,2	70,4	31,3	14,0*	0,9*	1,9
131	83,2	4,3	102,1	0,33	0,6*	9,5	57,6	78,9	29,3	19,8*	0,9*	1,9
65	68,1	3,7	88,3	0,4*	0,6	8,4	61,5	46,9	31,2	11,3	0,9*	2,9
42	66,6	4,4	77,2	0,3	0,6	11,0	46,3	62,8	25,9	18,5*	0,9*	3,1
35	66,6	4,5	63,0	0,3	0,5	10,5	55,9	84,7	26,9	16,0*	0,8*	4,5
114	83,0	5,9	112,3*	0,4*	0,6	11,1	53,5	69,6	34,1*	12,3	0,7*	2,3
124	77,4	4,8	104,8	0,2	0,5	20,9*	60,6	44,7	30,9	12,2	0,7*	4,2
125	49,4	8,9*	84,8	0,3	0,4	8,8	71,9*	85,0	20,0	16,6*	0,7*	1,3
8	59,4	5,0	72,0	0,3	0,7*	10,5	55,0	89,9*	21,5	9,3	0,6*	1,1
49	65,2	6,6*	89,5	0,2	0,7*	7,3	60,4	58,7	26,3	14,8*	0,6*	1,4
153	108,3*	4,3	134,4*	0,3	0,5	13,7	53,7	54,4	26,7	7,1	0,6*	1,8
22	71,9	6,1*	79,4	0,3	0,6	15,0*	64,4	45,4	28,3	13,0	0,6*	1,3
24	84,3	2,4	115,2*	0,37	0,5	10,9	40,8	18,7	33,8*	14,7*	0,5*	3,7
111	94,4*	5,7	101,2	0,4*	0,6	13,9	58,1	63,8	29,0	13,0	0,5*	1,4
113	87,2	4,8	104,8	0,3	0,6	9,7	50,3	67,2	27,4	15,2*	0,5*	1,9
141	79,9	5,0	119,9*	0,3	0,31	7,0	52,6	68,5	30,2	11,4	0,5	1,1
132	83,2	5,7	121,6*	0,4*	0,6	11,4	50,3	92,1*	31,7	11,9	0,5	2,5
16	75,5	2,5	99,9	0,4*	0,6*	10,6	68,7	59,7	22,5	3,0	0,5	1,1
33	64,2	5,3	92,0	0,2	0,4	10,9	62,2	74,7	26,4	15,9*	0,5	1,4
112	114,5*	5	129,2*	0,3	0,61	14,2	54,5	89,6*	26,1	7,9	0,5	1,1
μ	75,0	4,6	89,3	0,3	0,5	10,8	58,3	69,4	25,5	8,9	0,3	-
σ	14,6	1,4	21,8	0,1	0,1	3,5	11,8	19,4	6,8	4,4	0,2	-
$\mu+\sigma$	89,6	6,0	111,1	0,4	0,6	14,3	70,1	88,8	32,4	13,3	0,5	-
μ_{20S}	78,8	3,0	99,9	0,3	0,5	11,4	57,2	66,3	28,0	12,9	0,6	-

μ = media general de los 115 genotipos, σ = desviación estándar de los 115 genotipos, μ_{20S} = media de los 20 genotipos seleccionados, * = diferencias significativas ($\alpha=0,05$). IS= índice de selección.

Para la variable AP en CC vs DH, los genotipos 136 y 162 obtuvieron los mayores promedios con relación a los 115 genotipos (89,12cm). Los 20 genotipos seleccionados consiguieron una AP de 99,91cm (Tabla 5.3). En la relación CC vs EH, los genotipos 153 y 168 presentaron las medias más elevadas (143,63cm) con

relación a la media general que fue de 89,25cm y de los 20 mejores genotipos seleccionados (99,86cm) (Tabla 5.4).

El NT en CC vs DH, los genotipos 1, 40 y 172 fueron los de mayores promedios de 7,48 a 9,10 tallos, superiores a la media de los 115 genotipos (4,61 tallos) y a la media de los 20 genotipos seleccionados (4,73 tallos) (Tabla 5.3). En CC vs EH, se presentó una situación similar con los genotipos 125 (8,87 tallos), 9 (8,57 tallos) y 60 (7,98 tallos) cuyo promedio fue de 8,48 tallos, mayor a la media de los 115 genotipos (4,58 tallos) e incluso a la media de los 20 genotipos seleccionados (4,96 tallos) (Tabla 5.4). Al respecto, Bedogni *et al.* (2009) reportan que, en la evaluación del comportamiento a estrés hídrico de variedades nativas y especies silvestres de papa con respecto al número de tallos, no existieron diferencias significativas entre los tratamientos de estrés evaluados, pero si las hubo entre los genotipos. Resultados similares son reportados por Rodríguez (2015), quien indica que la respuesta fisiológica de estrés de tres variedades de papa bajo condiciones de estrés hídrico por déficit, se observaron diferencias significativas entre las variedades evaluadas, con valores de 3 a 4,67 tallos, pero no por efecto del estado hídrico. No obstante, otras investigaciones mencionan que el estrés por sequía reduce el número de tallos (Lahlou *et al.*, 2003).

Para PtH2 en CC vs DH, los genotipos 4, 5, 9, 17, 24, 42, 54, 111, 115, 130, 132, 133, 142, 160, 162, 165, 166, 168 y 172 con un rango de 0,38 a 0,57bar, obtuvieron los valores más altos de potencial hídrico a las 2am, con una media de 0,43bar, superaron los 0,32bar de los 115 genotipos evaluados y de los 20 genotipos seleccionados (Tabla 5.3). En CC vs EH, los genotipos 162 (0,54mg*m⁻²) y 172 (0,59mg*m⁻²) lograron los mayores promedios; mientras que, los 115 genotipos evaluados y los 20 seleccionados exhibieron una media de 0,31 y 0,28mg*m⁻², consecutivamente (Tabla 5.4).

En PtH10 dentro de CC vs DH, los genotipos 5, 16, 51, 65, 116 y 159 con valores entre 0,74 y 0,78bar y una media de 0,76bar, obtuvieron los valores más altos, los que fueron superiores a 0,57bar de los 115 genotipos y a 0,56bar de los 20 seleccionados

(Tabla 5.3). En CC vs EH, el genotipo 150 fue el de mayor valor (0,88 bar); mientras que, los 115 genotipos obtuvieron un PtH10 de 0,52bar y los 20 seleccionados de 0,54bar (Tabla 5.4).

Evaluaciones realizadas por Rivadeneria *et al.* (2020) en Ecuador con 39 genotipos bajo condiciones de invernadero, mostraron que los genotipos bajo condiciones de estrés hídrico tienen mayor variación en el PtH con valores que fluctuaron entre -6,8 y -16bares con una media de -10,05bar. Este comportamiento se debe al poco contenido de agua existente en el suelo, lo cual afecta su absorción de agua y hace que la planta realice mayor esfuerzo en la conducción del agua. Adicionalmente, los seis genotipos que obtuvieron la mejor respuesta estuvieron en un rango de -6,8 a -8bar, lo cual es menor a lo obtenido en esta investigación. Por otra parte, Rodríguez (2015) reporta potenciales hídricos bajo condiciones de déficit de -2,0Mpa con una posterior recuperación bajo condiciones de rehidratación.

En CC vs DH, para el ICC, los genotipos 129, 137 y 161 obtuvieron los valores más altos de contenido de clorofila total, con una media de $15,96\text{mg}\cdot\text{m}^{-2}$ y superan a los 115 genotipos ($9,05\text{mg}\cdot\text{m}^{-2}$) y a los 20 seleccionados ($8,51\text{mg}\cdot\text{m}^{-2}$) (Tabla 5.3). En CC vs EH, los genotipos 124, 137 y 167 exhibieron los mayores valores con 20,88, 18,07 y $18,45\text{mg}\cdot\text{m}^{-2}$, respectivamente. La media de los 115 genotipos fue de $10,83\text{mg}\cdot\text{m}^{-2}$ y la de los 20 seleccionados de $11,37\text{mg}\cdot\text{m}^{-2}$ (Tabla 5.4). Díaz (2016) encontró que los regímenes de aportes hídricos no generaron efectos significativos sobre el contenido de clorofila total en genotipos de papa criolla, con un valor medio en déficit hídrico de $28,3\mu\text{mcm}^{-2}$.

En CC vs DH, el valor más alto de CRA se obtuvo con el genotipo 17 (105,98%). La media de los 115 genotipos fue de $56,89\pm 12,70\%$ y la de los 20 de $59,79\%$ (Tabla 5.3). La misma variable en CC vs EH obtuvo el mayor promedio con el genotipo 17 (113,44%). El promedio general estuvo en $58,34\pm 11,76\%$ y la media obtenida por los 20 genotipos seleccionados fue de $57,18\%$ (Tabla 5.4). El CRA es propuesto frecuentemente como un criterio fisiológico de selección para la tolerancia a estrés hídrico (Julio *et al.*, 2013;

Rodríguez *et al.*, 2016). Gabriel (2013) estudió el CRA en seis variedades de papa y encontró que el alto contenido de humedad en el suelo origina solo una ligera variación del CRA, pero cuando la humedad del suelo decrecía significativamente, las diferencias del CRA eran más evidentes. Otros estudios señalan que hay diferencias varietales en el CRA aun cuando el potencial del agua del suelo sea alto (Gabriel y Ancasi, 2012).

Para MSH en CC vs DH, los genotipos 7, 17, 36, 37, 40, 44, 47, 58, 64, 112, 116, 127, 143, 150, 157, 172, 173 y 175 alcanzaron los valores más altos. Los 115 genotipos evaluados lograron una media de $59,23 \pm 18,56\%$ y los 20 genotipos seleccionados, $56,91\%$ (Tabla 5.3). Por otra parte, para CC vs EH, los promedios más elevados en MSH correspondieron a los genotipos 7, 146, 126, 172, 37, 66, 64, 116, 36, 115, 173, 150 con valores entre 90,99 y 98,90%; mientras que la media general fue de $69,36 \pm 19,42\%$, y la de los 20 genotipos seleccionados de $66,29\%$ (Tabla 5.4). En MST dentro de CC vs DH, los genotipos 29 (38,06%) y 145 (59,06%) obtuvieron los registros más altos. La media general fue de $25,24 \pm 5,87\%$ y la media de genotipos seleccionados de $25,71\%$ (Tabla 5.3). En CC vs EH el promedio más elevado en MST lo obtuvo el genotipo 29 (53,59%). Los 115 genotipos presentaron un promedio de $25,54 \pm 6,81\%$ y los 20 genotipos seleccionados, $27,97\%$ (Tabla 5.4).

En cuanto al rendimiento relativo de biomasa evaluado en genotipos superiores con tolerancia a estrés hídrico, Cuesta *et al.* (2017) reportan valores entre el 82,6 y el 97,1%, con pesos secos entre 29,8 y 22,6g, los cuales son superiores a los obtenidos en esta investigación.

Para NTP en CC vs DH los genotipos 17 (19,08 tubérculos), 111 (24,98 tubérculos), 135 (18,37 tubérculos), 137 (22,20 tubérculos) y 141 (18,56 tubérculos) obtuvieron los valores más altos con una media de $8,98 \pm 4,66$ tubérculos, valor menor al promedio de los 20 genotipos seleccionados (13,95 tubérculos) (Tabla 5.3). En NTP dentro CC vs EH, los genotipos 42 (18,52 tubérculos), 131 (19,77 tubérculos), 13 (19,94 tubérculos) y 116 (23,24 tubérculos) superaron al promedio general ($8,91 \pm 4,41$ tubérculos) y a los

20 seleccionados (17,73 tubérculos) (Tabla 5.4). Rivadeneira *et al.* (2020) obtuvieron diferencias significativas en el número de tubérculos para déficit hídrico, genotipos y para la interacción genotipos por déficit hídrico. Para genotipos, establecieron ocho rangos de significancia estadística. Los primeros rangos fueron ocupados por aquellos genotipos con más de 10 tubérculos y el menor rango los de tres tubérculos por planta. La interacción genotipos por déficit hídrico, estableció 10 rangos de significación estadística. En el primer rango se ubicaron las variedades con 15 tubérculos por planta y en el último rango se ubicaron aquellas con dos tubérculos por planta. Sin embargo, la mayoría de genotipos mostraron una reducción en el NTP debido a la deficiencia hídrica.

En la Tabla 5.3 se observan los promedios de las variables que componen el índice de selección (ISp) de CC vs DH para RTO. En esta variable los genotipos 8 (1,16g/planta), 111 (1,09g/planta), 125 (0,86g/planta), 135 (1,27g/planta) y 141 (0,92g/planta) consiguieron los valores más altos de rendimiento por planta. La media de los 115 genotipos evaluados fue de $0,36 \pm 0,23$ g/planta. Los 20 genotipos seleccionados con una media de 0,74g/planta, superaron a la media general en 0,38g/planta.

En la Tabla 5.4 se observan los promedios de las variables que componen el índice de selección (ISp) de CC vs EH para RTO. Los genotipos 135 (0,90g/planta), 131 (0,90g/planta), 65 (0,85g/planta), 42 (0,85g/planta) y 35 (0,75g/planta) obtuvieron los rendimientos por planta más altos. La media general del RTO fue de 0,32g/planta. Los 20 mejores genotipos con 0,63g/planta se destacaron sobre la media general en 0,31g/planta. Estos resultados concuerdan con lo manifestado por Chávez (1995), quien afirma que el mejoramiento poblacional consiste en formar nuevas poblaciones que incrementen la medida de rendimiento después de cada ciclo de selección, y que dicho incremento se debe a que los individuos seleccionados poseen genes superiores, que al recombinarse al azar, producen genotipos de mayor producción, por lo tanto, se espera que la población sea más productiva en promedio que la anterior. Bedogni *et al.* (2018) reportan que en variedades bajo condiciones de estrés hídrico por déficit de humedad, se pre-

sentaron reducciones en el rendimiento entre un 48 y 57%; sin embargo, existieron diferencias significativas entre variedades con un comportamiento superior de una a otra en un 15% en rendimiento total y en un 27% en rendimiento comercial, lo cual se atribuye a una afectación del estrés hídrico en la etapa final del llenado de los tubérculos.

Por otra parte, Corrales (2019) clasifica tres niveles de rendimiento de papa en 27 genotipos de papa después de ser sometidos a estrés por sequía. Los de promedios bajos de producción con rangos entre 0 y 0,15kg, los de producción intermedia en rangos entre 0,15 y 0,3kg y los de producción alta con rendimientos mayores a 0,3kg. Estos registros se encuentran por debajo de los obtenidos en esta investigación.

Análisis de Varianza segunda fase (ANDEVA). En la Tabla 5.5 se presentan los cuadrados medios del ANDEVA, para las variables evaluadas en 20 genotipos seleccionados de papa criolla (*Solanum tuberosum* grupo Phureja y Andígena) bajo condiciones de capacidad de campo, estrés hídrico del suelo por déficit y exceso.

La variable DAE fue la única variable que no presentó diferencias significativas en los niveles de humedad. La interacción genotipo por humedad fue significativa en todas las variables. La DAE a través de los niveles de humedad evaluados, osciló entre 10 a 60 días, con una media de 22,9 días (Tabla 5.5). Para la variable ICCe, el rango fue de 10 a 38,1mg*m⁻² con una media de 22,3±24,6mg*m⁻². El rango de ICCfes fue de 3,9 a 39mg*m⁻², con una media de 20,1±29,8mg*m⁻² (Tabla 5.5). Rodríguez *et al.* (2020) mencionan que el contenido clorofílico en tomate varía con la edad del cultivo. Esta es mayor a los 30 días después de la tuberización y disminuye con la edad del cultivo; no obstante, los resultados de Tubay *et al.* (2015), muestran que las plantas con déficit hídrico aumentan la concentración de clorofila. El ICCd osciló entre 5,0 y 37,0mg*m⁻² con una media de 6,2mg*m⁻². Con relación a estas variables, Peña *et al.* (2019) reportan un valor de 46,04±3,88spad antes del déficit hídrico, en déficit 48,43±4,93spad y en recuperación 47,13±3,34spad. Ortega *et al.* (2020), en una evaluación de cultivares de papa bajo sequía y heladas en Bolivia, mostraron

una correlación negativa con la severidad del estrés hídrico, por lo tanto, entre menor fuese la severidad del estrés hídrico, mayor contenido de clorofila se presentaba en la planta.

Tabla 5.5. Cuadrados medios del ANDEVA del diseño en Parcelas divididas para 24 variables evaluadas en 20 genotipos de papa criolla (*Solanum tuberosum* grupos Phureja y Andígena) con tres niveles de humedad del suelo.

FV	GL	DAE	ICCe	ICCFes	PtH9	PtHdu9	PtHf9
Bloque	2	120,0ns	109,5ns	182,1ns	0,1*	0,4*	0,2*
Humedad (H)	2	136,4ns	928,1*	1636,7*	0,1*	0,2*	0,2*
Error a	4	31,3ns	37,9ns	326,9ns	0,1*	0,1*	0,01*
Genotipo (G)	19	14371,7*	3256,0*	5699,9*	0,7*	0,51*	0,3*
GxH	38	1540,8*	1833,2*	3791,7*	0,2*	0,3*	0,4*
Error b	111	2740,8	3363,6	4001	0,3	0,5	1/0,7
Media		22,9	22,3	20,1	-0,3	-0,3	-0,3
CV (%)		21,7	24,6	29,8	-19,3	-23,6	-28,6
FV	GL	CE	CEe	AF	Afd	MSH	CRAF
Bloque	2	163509,4*	28571,2ns	7,7ns	4,31ns	2,3ns	196,1ns
Humedad (H)	2	1130710,5*	14176999,4*	67,8**	255,42**	68,2**	8773,3**
Error a	4	36711,3ns	139350,6ns	5,6ns	14,22ns	8,6ns	573,2ns
Genotipo (G)	19	7832335,2*	11579787,3*	1516,2*	3662,2*	500,4*	5634,6*
GxH	38	3514626,6*	29594654,5*	2194,6**	1425,53**	164,7*	6467,5*
Error	111	2040907,3	1993052,6	147,5	491,8	111,7	6684,6
Media		623,4	465,1	6,2	8,2	11,8	55,6
CV (%)		21,7	28,8	18,6	25,7	8,5	13,9
FV	GL	ICCd	Pthdes2	CEd	DCE	MSt	MSTu
Bloque	2	7,7ns	4,3ns	2,3ns	196,1ns	131,3ns	0,006ns
Humedad (H)	2	67,8**	255,4**	68,4**	8773,3**	779,3**	0,014**
Error a	4	5,6ns	14,2ns	8,6ns	573,2ns	315,5*	0,009ns
Genotipo (G)	19	1516,2**	3662,2**	500,4**	5634,6**	6402,4**	0,215**
GxH	38	2194,6**	1425,5**	164,7**	6467,5**	2767,6**	0,079*
GL/CM Error		111/147,5	111/491,8	111/111,7	111/6684,6	109/3422,6	109/0,1
Media		6,20	8,2	11,8	55,6	22,8	-0,2
CV (%)		18,59	25,7	8,5	13,9	24,5	21,6
FV	GL	IC	NEs	Ptu	NTuPP	PTuPP	Ptub
Bloque	2	23441,8ns	1,9ns	5,4ns	85,3ns	252,1ns	6z8,8ns
Humedad (H)	2	1793678,1**	1976,1**	122,7**	3566,6**	37180,6**	7343,1**
Error a	4	22366,6ns	9,2ns	32,5ns	47,7ns	109,1ns	53,3ns
Genotipo (G)	19	1939073,9*	231,0*	376,7*	3112,3*	36242,1*	5696,1*
GxH	38	4782745,2*	305,3*	734,7*	2074,7*	18409,4*	6591,7*
GL/CM Error		109/648876,1	109/147,9	110/635,8	109/2841,7	109/8095,8	110/2351,3
Media		289	4,74	12,2	13,69	25,8	15,6
CV (%)		26,7	24,60	19,6	30,29	29,3	29,6

CV=coeficiente de variación, *= diferencias significativas ($\alpha=0,05$), ns= no hay diferencias significativas.

Los datos de PtH9 estuvieron entre -0,2 y -0,5bar, con una media de -0,3bar. Los PtH para los genotipos evaluados en esta investigación fueron mayores a los reportados para el cultivo de papa en punto de marchitez permanente (-2,0 MPa) (Rodríguez *et al.*, 2016). Con relación a la CE, en muchas plantas, la disminución del PtH bajo condiciones de estrés por sequía está relacionado con la regulación de la pérdida de agua a través de la reducción de la conductancia estomática (Liu *et al.*, 2006; Osakabe *et al.*, 2014).

Para PtHdu9, los valores fluctúan entre -0,1 y -0,4bar con una media de -0,3bar. Rodríguez *et al.* (2015 y 2016) reportan una correlación significativa entre el PtH y la conductancia estomática, lo que muestra que el periodo de déficit hídrico redujo las fotosíntesis neta, por cierre estomático para evitar la pérdida de agua por transpiración. Además, Rivadeneira *et al.* (2020) mencionan una correlación positiva entre el potencial hídrico con déficit hídrico con el rendimiento de la planta, algo similar a lo obtenido con IC para esta investigación. Corrales *et al.* (2019) reportan una correlación positiva entre el rendimiento y el potencial hídrico.

Los datos de PtHf9 oscilaron entre -0,1 y -0,4bar al igual que PtHdu9, con una media de -0,3bar y los de Pthdes2 estuvieron entre -0,1 y -0,3bar, con un promedio de -0,17bar (Tabla 5.5).

En contraste con los resultados obtenidos en esta investigación, para las diferentes épocas en las que se evaluó el potencial hídrico donde se obtuvieron diferencias estadísticas entre los tratamientos evaluados, Díaz *et al.* (2016), en su evaluación de dos variedades de papa ante estrés hídrico, reportan no haber obtenido diferencias significativas para esta variables debido a la baja variabilidad de las dos variedades evaluadas, cuyos promedios fueron de -1,34 y -1,82MPa; sin embargo, reportan una disminución en la variable conforme se incrementaron los días de déficit, al igual que en esta investigación. Esto se debe al poco contenido de agua existente en el suelo, el cual afecta la absorción de agua y hace que la planta realice mayor esfuerzo en la absorción y conducción del agua por el continuo suelo - planta - atmósfera.

Diversos autores han señalado que el potencial hídrico foliar representa un indicador para describir el estado hídrico de las plantas (Yatapanage & So, 2001). En este sentido, se ha encontrado que las determinaciones periódicas del potencial de agua, puede ser un método alternativo para el conocimiento de la necesidad del agua de la planta durante la programación del riego; así como para controlar la magnitud del estrés hídrico, ya sea por exceso como por defecto (Ferreyra *et al.*, 2006; Girona *et al.*, 2006).

En las variables CE, CEE y CED los valores se encuentran entre 114,1 a 1240,4mmol m⁻²s⁻¹; 38,3 a 2390,5mmol m⁻²s⁻¹ y de 21,3 a 1515,9mmol m⁻²s⁻¹ con medias de 623,41, 465,05 y 289mmol m⁻²s⁻¹, respectivamente. Las disminuciones en la conductancia estomática, reduce la pérdida de agua a través de la transpiración y disminuye el intercambio de gases como el dióxido de carbono, además, como consecuencia se reduce la producción de fotoasimilados y el crecimiento de las plantas (Lahlou *et al.*, 2003; Tourneux *et al.*, 2003; Díaz *et al.*, 2015).

En evaluaciones realizadas por Bedogni *et al.* (2018), se registran rangos de conductancia estomática bajo condiciones de estrés hídrico evaluadas a los 90 días de 486 a 717mmol m⁻²s⁻¹, mientras que en condiciones de riego se registran valores de 677 a 1089mmol m⁻²s⁻¹. Se evidencia una disminución de la CE ante el déficit de humedad, lo cual fue confirmado en esta investigación. Resultados similares publicaron Yatayo & Sánchez (2015), quienes indican que la CE disminuyó en el tiempo, una vez iniciados los tratamientos, con 431mmol m⁻²seg⁻¹ a los ocho días después de iniciado el tratamiento y 136mmol m⁻²seg⁻¹ a los 51 días después de iniciado el tratamiento.

Respecto al AF, esta variable presenta una media de 6,20m² con un rango entre 0,3 y 20,8m². El promedio de AFd fue de 8,18m² con valores entre 0,8 y 26,8m². Rodríguez *et al.* (2015) registraron mayores valores de área foliar tanto en condiciones de riego como en déficit de riego con valores de 5755,5 y 5584,3cm², y aunque el déficit hídrico indujo reducción en los valores de la variable, no se observaron diferencias significativas. Torres *et al.* (2018)

registraron valores entre 15,10dm² y 41,17dm², sin embargo, diferencias significativas entre tratamientos.

Los registros de CRA final fluctuaron entre 30,4 y 74,2% con una media de 55,60% (Tabla 5.5). Peña *et al.* (2017), bajo condiciones de déficit, obtuvieron porcentajes entre 63,1 y 75,6%. Adicionalmente, en evaluaciones realizadas con una variedad de papa en Perú donde se evaluó la eficiencia del uso de agua en diferentes niveles de riego, se obtuvieron valores de CRA de 0,88gg⁻¹. Se puede inferir que con los tratamientos de reducción de humedad, el CRA tiende a ser decreciente y ligeramente creciente para las últimas evaluaciones (Yactayo y Sánchez, 2015).

Los IC estuvieron entre 0 y 78,3 con un promedio de 25,85 (Tabla 5.5). Con relación a esta variable, bajo condiciones productivas de capacidad de campo en cultivos de papa con dos variedades en Cuba se reportan IC de 0,68 a 0,78 (Prieto *et al.*, 2018). Rojas y Segovia (2014) reportan IC bajos de 22 y 46 para diez cultivares promisorios de papa chaucha.

El NEs a través de los niveles de humedad evaluados mostró una media de 15,16 estolones (Tabla 5.5). Gervasio *et al.* (2019) reportaron entre 3 a 4 estolones por tallo, de tal forma, que plantas con tres y cuatro tallos tendrían entre 12 y 16 estolones, valores que son similares a los obtenidos bajo condiciones de estrés hídrico en este trabajo. El número de estolones y tallos principales son indicativos del rendimiento de una planta de papa. En esta especie, cada planta proviene de un tubérculo que forma un conjunto de tallos. 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 (Velásquez *et al.*, 2017).

MST presentó un rango entre 7,1 y 18,3% con una media 12,25% (Tabla 5.5). Peña *et al.* (2019) reportan una MST del 21,03% con valores entre el 16 y 26%. El número de tallos es proporcional a la acumulación de materia seca en los diferentes órganos de la

planta, también al desarrollo del área foliar, al índice de área foliar (Hernández & Mora, 2019).

El NTuPP fue de 13,59 tubérculos (Tabla 5.5). Seminario *et al.* (2017) en su evaluación del rendimiento de 17 cultivares de papa del grupo Phureja no encontraron diferencias significativas. El promedio reportado por ellos, fue de 22 ± 9 tubérculos por planta y varió entre 9 y 35 tubérculos por planta, equivalentes a 25 y 97 tubérculos por metro cuadrado. Rojas y Seminario (2014) reportaron en papa Chaucha una media de 23,5 tubérculos. Al respecto, Bedogni *et al.* (2009) encontraron que las variedades Sipacachi, Unknown y el genotipo detriC1S1802 tuberizaron bajo condiciones regulares de humedad, y con tratamientos de estrés hídrico con déficit parcial y total de humedad. Ellos obtuvieron diferencias significativas tanto en el número de tubérculos como en peso de los mismos tanto a nivel del tratamiento aplicado como a nivel del genotipo.

En las Tablas 5.6 y 5.7, se muestran las medias geométricas de las variables que componen el índice de selección (IS) y rendimiento estimado (PTuPPes) para capacidad de campo versus déficit hídrico (CC vs DH) (Tabla 5.6) y para la interacción capacidad de campo por exceso hídrico (CC vs EH) (Tabla 5.7).

En DAE dentro de CC vs DH, fue el genotipo 135 que obtuvo el mayor promedio con un valor de 42,7 días. Los cinco genotipos seleccionados (GS) obtuvieron una diferencia de 5,01 días con los 20 genotipos, de tal forma que a pesar de poseer los mejores IS, son los más tardíos. Con la variable CRA final, el genotipo 162 fue el que obtuvo el registro más alto (65,4%) y los GS presentan una ganancia de 3,1%. Antes de la aplicación del tratamiento de estrés el mayor valor de AF fue para el genotipo 131 ($16,28\text{m}^2$). Este genotipo también obtuvo la mayor AFd ($22,6\text{m}^2$) después de la aplicación del tratamiento de estrés. Para antes y después de los tratamientos de humedad, los GS tuvieron una ganancia de AF entre 1,36 a $2,12\text{m}^2$ (Tabla 5.6).

En CC vs EH, la variable MST obtuvo el mayor promedio con el genotipo no seleccionado 22 (17,1%). El promedio general fue

de 12,5% y el promedio de los GS de 11,5%; por lo tanto, no hubo diferencias por selección en esta variable. En la variable Ptub el mayor promedio lo obtuvo el genotipo no seleccionado 135 con un valor de 19,2 g/planta. Con los GS, se obtuvo un DS de 5,65, debido a que la media general fue de 6,9 g/planta y la media de los GS de 12,56 g/planta (Tabla 5.7).

Tabla 5.6. Medias geométricas de las variables evaluadas en los genotipos (Gen) seleccionados de papa criolla (*Solanum tuberosum* grupos Phureja y Andígena) bajo la interacción capacidad de campo por déficit hídrico (CC vs DH).

Gen	Ptu	CEe	NTuPP	CRAfinal	Afd	PtHf9	NEs	CE	ICCe	
65	517,6	121,6	15,8	46,6	5,6	0,3	13,8	524,0	21,6	
112	243,6	128,5	22,3	64,4	21,2	0,3	24,8	403,7	29,8	
125	230,5	115,9	10,8	63,5	10,1	0,3	19,6	897,5	21,8	
124	230,7	277,2	15,6	63,9	5,1	0,3	18,1	675,8	28,4	
175	228,3	455,5	14,5	46,8	9,0	0,3	17,2	567,7	25,0	
μ	160,4	256,3	14,8	53,9	8,1	0,3	17,1	625,0	23,8	
σ	118,6	168,8	5,7	7,7	5,4	0,1	5,9	238,4	4,6	
$\mu+\sigma$	279,1	425	20,6	61,7	13,5	0,3	23	863,4	28,4	
$\bar{Y}S$	290,1	219,7	15,8	57,0	10,2	0,3	18,7	613,7	25,3	
DS	129,7	-36,6	1,0	3,1	2,1	0,0	1,6	-11,3	1,5	
Gen	DAE	PtH9	PtHd9	AF	DCECon	MSTu	IC	P'TuPP	P'TuPPes	IS
65	13,5	0,2	0,3	5,3	0,1	16,6	63,0	0,6	0,6	474,0
112	36,8	0,4	0,3	7,2	0,1	15,8	32,2	0,3	0,3	171,7
125	30,1	0,3	0,3	9,3	0,1	17,1	22,7	0,3	0,3	120,7
124	31,8	0,3	0,3	7,4	0,1	17,5	32,1	0,3	0,3	114,5
175	24,3	0,3	0,3	6,9	0,1	18,3	30,6	0,2	0,3	105,8
μ	22,3	0,3	0,3	5,9	0,1	15,4	30,6	0,2	0,2	-
σ	8,4	0,1	0	3,3	0,0	5,2	20,1	0,1	0,1	-
$\mu+\sigma$	30,7	0,3	0,3	9,2	0,1	20,6	50,7	0,3	0,3	-
$\bar{Y}S$	27,3	0,3	0,3	7,2	0,1	17,1	36,1	0,3	0,4	-
DS	5,0	0,0	0,0	1,3	0,0	1,7	5,5	0,1	0,2	-

$\bar{Y}S$ = media de la fracción seleccionada, μ = media general de los 20 genotipos; σ = desviación estándar de los 20 genotipos; DS = diferencial de selección ($\bar{Y}S - \mu$).

Dentro de la población estudiada, para CE, el genotipo 42 obtuvo el mayor promedio tanto en CC vs DH ($1165,68 \text{ mmol m}^{-2}\text{s}^{-1}$) como en CC vs EH ($1142,0 \text{ mmol m}^{-2}\text{s}^{-1}$), mientras que en CEe, el mayor promedio en CC vs DH fue para el genotipo 33 ($619,14 \text{ mmol m}^{-2}\text{s}^{-1}$), y en CC vs EH tanto para CEe y CEd, el genotipo 133 fue el de mayor promedio con registros de $1117,9$ y $480,5 \text{ mmol m}^{-2}\text{s}^{-1}$, respectivamente (Tablas 5.6 y Tabla 5.7). En CC vs DH no se observaron diferencias por selección en las dos variables, lo cual puede estar acorde con que algunas variedades tienen mayor ahorro de agua debido a que poseen una mayor sensibilidad estomática a expensas de la asimilación de carbono y otras variedades mantienen un nivel de apertura estomática para el intercambio gaseoso en los mismos niveles de déficit hídrico (Bedogni *et al.*, 2018).

Rodríguez *et al.* (2015) lograron detectar diferencias significativas para la CE entre las variedades y los tratamientos evaluados. Ellos publican valores de hasta $0,01 \text{ mol H}_2\text{O m}^{-2}\text{S}^{-1}$ cuando la planta alcanzó los menores potenciales hídricos foliares. Así mismo, bajo el estrés por sequía, la tolerancia de algunos genotipos se ha asociado con una rápida recuperación después de la rehidratación, lo que sugiere una regulación de la pérdida de agua a través de una disminución de la conductancia estomática (Rodríguez *et al.*, 2015; Rodríguez, 2015; Díaz, 2016; Rodríguez *et al.*, 2016).

Dentro CC vs EH para CE se produjo una diferencia de $70,3 \text{ mmol m}^{-2}\text{s}^{-1}$ debido a la fracción seleccionada y una ganancia de $42,3 \text{ mmol m}^{-2}\text{s}^{-1}$ para CEe; mientras que en CEd no se generó un incremento de los valores (Tabla 5.7). Así mismo, bajo el estrés por sequía, la tolerancia de algunos genotipos se ha asociado con una rápida recuperación después de la rehidratación (Hu *et al.*, 2010; Zegada-Lizarazu & Monti, 2013), por lo tanto, existe una regulación de la pérdida de agua a través de una disminución de la conductancia estomatal.

En variable PtH9 de CC vs DH, los cinco genotipos seleccionados obtuvieron una diferencia por selección de $0,02 \text{ bar}$, respecto a los 20 genotipos seleccionados en la primera fase. El genotipo

131 alcanzó el mayor PtHdu9 con un valor de 0,37bar y los seleccionados alcanzaron una diferencia de 0,01bar. El mayor PtHf9 fue para el genotipo 153 (0,40bar) y los GS superaron a la media general en 0,02bar (Tabla 5.6).

Tabla 5.7. Medias geométricas de las variables evaluadas en los genotipos (Gen) seleccionados de papa criolla (*Solanum tuberosum* grupos Phureja y Andígena) bajo la interacción capacidad de campo por exceso hídrico (CC vs EH).

Gen	ICCe	CCifes	PtH9	PtHd9	PtHf9	CE	CEe	ICCd	PtHd2	CEd	
135	21,5	22,2	0,3	0,3	0,3	525,3	585,5	25	0,2	242,4	
49	18,9	13,5	0,2	0,2	0,2	717,1	287,6	13,6	0,1	76,6	
33	18,6	14,5	0,2	0,2	0,2	937,4	688,8	15,4	0,1	235,6	
153	24,4	28,1	0,2	0,2	0,3	812	689,7	18,2	0,1	321,2	
65	18,6	15,8	0,2	0,2	0,2	544,5	383,8	11,4	0,1	105,4	
μ	20,9	18,9	0,3	0,3	0,3	637	484,8	21,3	0,2	215,2	
σ	4,5	4,7	0,1	0,1	0,1	204	290,4	7,6	0,0	117,0	
$\mu+\sigma$	25,4	23,7	0,3	0,3	0,3	840,9	775,2	29,0	0,2	332,2	
$\bar{Y}S$	20,4	18,8	0,2	0,2	0,2	707,3	527,1	16,7	0,1	196,2	
DS	-0,5	-0,1	-0,1	-0,1	-0,1	70,3	42,3	-4,6	-0,1	-19,0	
Gen	DCECon	MST	MSTu	IC	NEs	Ptu	NTuPP	Ptub	PTuPP	PTuPPes	IS
135	0,0	11,6	18,6	36,3	19,2	206,5	19,2	19,2	217,9	0,2	211
49	0,0	12,8	22,1	35,3	25,8	141,2	21,8	10,4	202,7	0,2	187
33	0,0	12,4	21,0	36,5	34,6	154,5	31,3	10,3	202	0,2	185
153	0,0	9,8	15,8	57,2	12,3	201,2	8,8	18,7	177,3	0,2	165
65	0,1	11,6	14,1	22,9	9,3	161,9	6,6	15,9	156,9	0,2	151
μ	0,1	12,5	11,0	16,0	12,5	70,3	10,7	6,9	79,71	0,1	-
σ	0,0	2,3	6,4	16,4	9,6	65,9	8,8	5,4	72,3	0,1	-
$\mu+\sigma$	0,1	14,8	17,5	32,5	22	136,1	19,5	12,4	152	0,2	-
$\bar{Y}S$	0,0	11,6	18,3	37,6	20,2	173,1	17,5	14,9	191,4	0,2	-
DS	-0,1	-0,9	7,3	21,6	7,7	102,8	6,8	8,0	111,7	0,1	

$\bar{Y}S$ = media de la fracción seleccionada; S = desviación estándar de la fracción seleccionada; μg = media general de los 20 genotipos; σg = desviación estándar de los 20 genotipos; DS = diferencial de selección ($\bar{Y}S - \mu g$).

En CC vs EH, el mayor PtH9 lo alcanzó el genotipo 125 (0,37bar). Los GS no mostraron superioridad respecto a los demás. El mayor PtHdu9 fue para el genotipo 141 (0,41bar) y la fracción seleccionada tampoco superó al promedio general. El PtHf9 el máximo lo alcanzó el genotipo 162 (0,36bar). Para esta variable y el PtHdes2, tampoco existieron diferencias positivas por selección (Tabla 5.7). Al respecto, Corrales *et al.* (2019) realizaron una clasificación de los genotipos por su PtH. En un grupo ubicaron los genotipos con un potencial hídrico alto con valores menores o iguales a -3,5bar, genotipos con valores intermedios con rangos entre -3 y 3,49bar, y los genotipos con potencial hídrico bajo con valores mayores a -3bar; sin embargo, bajo estrés por sequía registraron potenciales alrededor de los -8bar, los cuales son mucho mayores que los obtenidos en esta investigación.

Los GS obtuvieron un diferencial de selección de 1,65 estolones por planta (NEs) bajo la interacción CC vs (Tabla 5.6) y en CC vs EH, se presentó una situación similar, donde los GS expresaron un diferencial de selección de 8,24 estolones (Tabla 5.7). El ICC en CC vs DH durante el estrés hídrico (ICCd) fue menor en los GS que en los 20 genotipos evaluados en la segunda fase. El genotipo 153 obtuvo el mayor promedio con un valor de $32,50\text{mg}^*\text{m}^{-2}$ (Tabla 5.6). El ICCd en CC vs EH se comportó de la misma forma que en CC vs DH. El ICC en el último día del estrés (ICCFes) produjo un diferencial de selección positiva ($0,06\text{mg}^*\text{m}^{-2}$). Al evaluar esta variable después de la aplicación del tratamiento (ICCd), la media general fue de $21,3\text{mg}^*\text{m}^{-2}$; mientras que la media de la fracción seleccionada de $16,7\text{mg}^*\text{m}^{-2}$ con un DS de -4,6 (Tabla 5.6).

El índice de concentración de clorofila es considerado como un indicador importante de la susceptibilidad al estrés hídrico, ya que los genotipos susceptibles manifestaron disminuciones relevantes en los valores de clorofila en comparación con los tolerantes. Esto se pudo observar en estudios realizados por Alemán *et al.* (2010), quienes evaluaron la respuesta a estrés hídrico de genotipos de *Phaseolus vulgaris* L. de Cuba y Venezuela, donde los genotipos susceptibles en condición de estrés severo mostraron una reducción significativa en el contenido de clorofila. Por el contrario,

los clasificados como tolerantes manifestaron un comportamiento homogéneo en los niveles de clorofila.

En DCE, los GS presentaron un valor similar (0,052) a la media general (0,051) en CC vs DH (Tabla 5.6). Lo mismo ocurrió en CC vs EH, donde el promedio general de DCE con (0,05) fue semejante al de los GS (0,05) (Tabla 5.7). En trabajos realizados por Morales *et al.* (2015), se encontró que el valor mas alto del daño a la membrana celular estuvo en un 3,92%. Los demás valores obtenidos estuvieron por encima del 5%. Según los autores, las variedades que perdieron menos cantidad de electrolitos son los más tolerantes a estrés hídrico.

Para MSTu, el genotipo 153 obtuvo el mayor promedio en CC vs DH (22,7%) y en CC vs EH fue el 49 (22,1%). En CC vs DH, el DS fue de 1,7 con una media general de 15,4% y la de los GS de 17,1% (Tabla 5.6). En CC vs EH se generó una diferencia de 7,2% debido a que la fracción seleccionada (18,3%) supero a la media general (11,0%) (Tabla 5.7). En 17 cultivares de papa Chaucha, Seminario *et al.* (2017) obtuvieron un MSTu de 22,1%, que fue mayor al obtenido en esta investigación. Cuesta *et al.* (2017) reportaron un 23% de materia seca de tubérculo en la variedad mejorada INIAP-Josefina. Sin embargo, los cultivares más tolerantes no incrementan biomasa durante el periodo de estrés, más bien utilizaron el agua para mantener la turgencia (Ortega *et al.*, 2020).

Dentro de CC vs DH, el diferencial de selección del Ptu fue de 129,7g, debido a que la media general fue de 160,4g y la media de los GS de 290,2g (Tabla 5.6). En CC vs EH se presentó una situación similar, donde el DS fue de 102,8g, la media general de 70,3g y la media de la fracción seleccionada de 173,1g (Tabla 5.7).

Para CC vs DH, la media general del NTuPP fue de 14,8 tubérculos y el promedio de los GS de 15,8, por lo tanto, se obtuvo un DS positivo de 0,96 tubérculos (Tabla 5.6). En CC vs EH, el promedio general fue de 10,7 tubérculos y de los GS de 18,05 tubérculos, lo cual produjo un DS de 7,35 tubérculos (Tabla 5.7). Esto indica que, al aplicar el índice de selección, se obtuvo una ganancia en el número de tubérculos por planta y al tener una correlación

significativa con el IC ($CC=0,28$; $DH=0,42$ y $EH=0,63$), con el NEs ($CC=0,92$; $DH=0,89$ y $EH=0,98$) y con CEe (0,38) bajo condiciones de EH, se puede afirmar que una selección por IC y NEs se aumenta el NTuPP.

Rojas y Seminario (2014) reportan bajo condiciones óptimas productivas un número de tubérculos comerciales de 2 a 4,2; sin embargo, los tubérculos comerciales con relación al total de tubérculos fueron del 13% (15 y 32 tubérculos), lo cual evidencia un buen comportamiento de la fracción seleccionada bajo condiciones de estrés hídrico por déficit. Cuesta *et al.* (2017) indica que las variedades tolerantes a estrés hídrico produjeron de 15 a 29 tubérculos por planta. Las diferencias entre cultivares en las variables en estudio indican el potencial del germoplasma evaluado para el mejoramiento genético a condiciones de estrés hídrico (Figura 5.1), de modo que se pueden escoger los mejores genotipos para planes de cruzamiento con el propósito de formar a futuro compuestos clonales para procesos de selección (Rojas y Seminario, 2014).



Figura 5.1. Respuesta de genotipos de papa criolla a capacidad de campo, con y sin estrés hídrico del suelo.

5.6 Conclusiones

Los 150 genotipos evaluados obtuvieron potenciales hídricos que estuvieron por debajo del punto de marchitez permanente. Los genotipos evaluados en la primera fase no presentaron reducciones significativas en el rendimiento de tubérculos. Los genotipos 65, 112, 125, 124, 175, 135, 9, 153, 49, 8, 40, 22, 131, 141, 33, 42, 137, 133, 114 y 162 obtuvieron los mayores rendimientos e índices de selección en la interacción de capacidad de campo por exceso y déficit de humedad. Estos se caracterizan por obtener los mayores rendimientos bajo condiciones de estrés hídrico por exceso y déficit de humedad. Los genotipos 65, 112, 125, 124 y 175 presentaron los mayores índices de selección para la interacción capacidad de campo por déficit hídrico. Los genotipos 135, 49, 33, 153 y 65 tienen mayor capacidad de respuesta a períodos de estrés hídrico por exceso de humedad.

5.7 Agradecimientos

La investigación se realizó en el marco del proyecto “Mejoramiento tecnológico y productivo del sistema papa en el departamento de Nariño”, gracias a la financiación del Sistema General de Regalías FCTeI - Gobernación de Nariño y al aval para su ejecución por la Universidad de Nariño y Agrosavia.

5.8 Bibliografía del Capítulo 5

- Bajji, M., Kinet, J.M., Lutts, S. 2002. The use of the electrolyte leakage method for assessing cell membrane stability as a water stress tolerance test in durum wheat. *Plant Growth Regulation*. v.36, p61–70. doi: <https://doi.org/10.1023/A:1014732714549>
- Bedogni, M., Capezio, S., Huarte, M. 2009. Comportamiento frente a estrés hídrico de variedades nativas y especies silvestres de papa. *Revista Latinoamericana de la Papa*. v.15, n.1, p72-75.
- Bedogni, M., Capezio, S., Echaide, G. 2018. Comportamiento de dos variedades de papa bajo estrés hídrico. *Revista Latinoamericana de la Papa*. v.22, n.1, p49-57.

- Chaves, M.M., Pereira, J.S., Maroco, J., Rodrigues, M.L., Ricardo, C.P.P., Osório, M.L., Carvalho, I., Faria, T., Pinheiro, C. 2002. How plants cope with water stress in the field. Photosynthesis and growth. *Annals of Botany*. v.89, p907-916.
- Corrales, E. 2019. Evaluación del rendimiento y respuestas fisiológicas durante el estrés de sequía en veintisiete genotipos de papa. Universidad San Francisco de Quito, Colegio Ciencias e Ingeniería. Quito. 92p. <https://repositorio.usfq.edu.ec/bitstream/23000/8342/1/142937.pdf>; consulta: 5/10/2021.
- Cuesta, X., Rivadeneira, J., Yumisaca, F., Carrera, E., Monteros, C., Reinoso, I. 2017. INIAP-Josefina: Nueva variedad de papa con tolerancia a la sequía. *Revista Latinoamericana de Papa*. v.20, n.2, p39-54.
- Díaz, P. 2016. Evaluación de la tolerancia al estrés hídrico en genotipos de papa criolla (*Solanum phureja* Juz et Buk). Tesis de Maestría en Ciencias Agrarias. Universidad Nacional de Colombia. 102p.
- Ehlers Wilfried & Goss Michael. 2016. Water dynamics in plant production. 2nd edition. Wallingford, CABI International. 373p.
- Ekanayake, I. 1993. Evaluación de resistencia a la sequía en genotipos de papa y batata (camote). Guía de investigación CIP 19. Lima, Perú, Centro Internacional de la Papa. 16p.
- Espinosa, E. 2017. Evaluación del daño por frío en veintiún genotipos de papa (*Solanum tuberosum*) mediante las metodologías de nivel de daño por escala visual y fuga de electrolitos. Quito, Universidad San Francisco. 69p. <https://repositorio.usfq.edu.ec/bitstream/23000/6466/1/131688.pdf>; consulta: 5/10/2021.
- Fabricio, P., León, J., Parra, V. 2019. Estudio de evaluación agronómica en el cultivo de papa (*Solanum spp.*) con tolerancia al déficit hídrico – Ecuador. *Revista de Investigación en Agroproducción Sustentable*. v.3, n.3, p37-46. <http://revistas.untrm.edu.pe/index.php/INDESDOS/article/view/500/870>; consulta: 5/10/2021.
- Ferreira, R., Selles, G., Silva, H., Ahumada, R., Muñoz, I., Muñoz, V. 2006. Efecto del agua aplicada en las relaciones hídricas y productividad de la vid ‘Crimson Seedless’, Brasilia, Pesq. Agropec. Bras. v.41, n.7, p1109-1118.
- Flint, H.I., Boyce, B.R., Beattie, D.J. 1967. Index of Injury a useful expression of freezing injury to plant tissues as determined by the electrolytic method. *Can J Plant Sci*. v.47, p229-230. Doi: <https://doi.org/10.4141/cjps67-043>

- Gabriel, J., Veramendi, S., Angulo, A., Magne, J. 2013. Response of potato varieties improved (*Solanum tuberosum* L.) to water stress by drought. *J Selv Biosphere*. v.4, n.1, p25-36.
- Gabriel, J. & Ancasi, G. (2012). Resistencia genética de híbridos de papa (*Solanum tuberosum* L.) al estrés hídrico por sequía. *Revista Latinoamericana de la Papa*. v.17, n.1, p97-124.
- Gabriel, J., Porco, P., Ángulo, A., Magne, J., La Torre, J., Mamani, P. 2012. Resistencia genética a estrés hídrico en variedades de papa (*Solanum tuberosum* L.) bajo invernadero. *Revista Latinoamericana de la Papa*. v.16, n.2, p173-208.
- Gervasio Gedson, Jerez-Mompe Eduardo, Morales Belquis, Caridad-Napoles María. 2019. Selección de una rizobacteria promotora del crecimiento en papa (*Solanum tuberosum* L.). *Cultivos Tropicales*. v.40, n.2, e07 http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0258-59362019000200007&lng=es&nrm=iso; consulta: 6/10/2021.
- Gregory, P.J. & Simmonds L.P. 1992. Water relations and growth of potatoes. En: Harris, P.M. (Editor). pp214-246. *The Potato Crop*. World Crop Series. Springer, Dordrecht. 909p. doi:https://doi.org/10.1007/978-94-011-2340-2_5
- Girona, J., Mata, M., Del Campo, J., Arbonés, A., Bartra, E., Marsal, J. 2006. The use of midday leaf water potential for scheduling deficit irrigation in vineyards, *Irrigation Science*. v.24, p115-127.
- Hernández, A. & Mora, E. 2019. Efecto del número de tallos en los índices de crecimiento y el rendimiento de la papa (*Solanum tuberosum*) cultivar Ultra. San Clara, Cuba. Universidad Central Marta Abreu. 47p. <https://dspace.uclv.edu.cu/bitstream/handle/123456789/11312/Alejandro%20Martin%205toA%3%b1o%20Tesis%20Diploma.pdf?sequence=1&isAllowed=y>; consulta: 6/10/2021.
- Hu, L., Wang, Z., Huang, B. 2010. Diffusion limitations and metabolic factors associated with inhibition and recovery of photosynthesis from drought stress in a C3 perennial grass species. *Physiol. Plant*. v.139, p93-106. doi:10.1111/j.1399-3054.2010.01350.x.
- Inzunza, M., Villa, Ma., Catalán, E., López, R., Sifuentes, E. 2018. Rendimiento de grano de maíz en déficit hídrico en el suelo en dos etapas de crecimiento. *Revista Fitotecnia Mexicana*, v.41, n.3, p283-290.
- Julio, G., Silene, V., Ada, A., Jury, M. 2013. Response of potato varieties improved (*Solanum tuberosum* L.) to water stress by drought. *Journal of the Selva Andina Biosphere*. v.1. n.1, p33-44.

- Lahlou, O., Ouattar, O., Ledent, J. 2003. The effect of drought and cultivar on growth parameters, yield and yield components of potato. *Agronomie*. v.23, p257–268.
- Lichtenthaler Hartmut K. 1987. [34] Chlorophylls and carotenoids: Pigments of photosynthetic biomembranes. *Plant Cell Membranes*. Academic Press. v.148, p50–382. doi:10.1016/0076-6879(87)48036-1
- Lim, C., Baek, W., Jung, J., Kim, J., Lee, S. 2015. Function of ABA in stomatal defense against biotic and drought stresses. *Int. J. Mol. Sci.* v.16, p15251-15270. doi: 10.3390/ijms160715251
- Liu, F., Jensen, C., Shahanzari, A., Andersen, M., Jacobsen, S. 2005. ABA-regulated stomatal control and photosynthetic water use efficiency of potato (*Solanum tuberosum* L.) during progressive soil drying. *Plant Sci.* v.168, p831-836. Doi: 10.1016/j. plantsci.2004.10.016
- Liu, F., Shahnazari, A., Andersen, M., Jacobsen, S., Jensen, C. 2006. Effects of deficit irrigation (DI) and partial root drying (PRD) on gas exchange, biomass partitioning, and water use efficiency in potato. *Sci Hortic-Amsterdam*. v.109, p113-117.
- Lynch, D., Kozub, G., Kawchuk, L. 2001. The relationship between yield, mainstem number, and tuber number in five maincrop and two early-maturing cultivars. *American Journal of Potato Research*. v.78, p83-90.
- Macarena, P. & Sagredo, B. 2012. Detección de QTL y búsqueda de genes candidatos asociados a resistencia a estrés hídrico en *Solanum tuberosum* mediante mapeo asociativo. Tesis de Doctorado. Universidad de la Frontera, Facultad de Ciencias Agropecuarias y Forestales. Temuco, Chile. 138 p.
- Melgarejo, L. 2010. Experimentos en Fisiología Vegetal. Laboratorio de fisiología y bioquímica vegetal. Bogotá, Universidad Nacional de Colombia. 279p. http://ciencias.bogota.unal.edu.co/fileadmin/Facultad_de_Ciencias/Publicaciones/Imagenes/Portadas_Libros/Biologia/Experimentos_en_fisiologia_Vegetal/ExperimentosEnFisiologiaVegetal.pdf; consulta: 6/10/2021.
- MADR. Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural. 2018. MinAgricultura. <https://www.agronet.gov.co/estadistica/Paginas/home.aspx?cod=1#>; consulta: 30/05/2021.
- Monneveux, P., Ramírez, D., Pino, M. 2013. Drought tolerance in potato (*S. tuberosum* L.): Can we learn from drought tolerance research in cereals?. *Plant Science*. v.205–206, p76-86.
- Moreno, D. 2017. Respuesta fisiológica y bioquímica de cuatro variedades de papa criolla (*Solanum tuberosum* L. Grupo *Phureja*) a condiciones

- de sequía. Tesis de Maestría en Ciencias Agrarias. Bogotá, Universidad Nacional de Colombia. 91p. <https://repositorio.unal.edu.co/bitstream/handle/unal/60988/tesismaestriadarwin.pdf?sequence=1&isAllowed=y>; consulta: 6/10/2021.
- Nguyen, T.T., Klueva, N., Chamareck, V., Aarti, A., Magpantay, G., Millena, A.C.M., Pathan, M.S., Nguyen, H.T. 2004. Saturation mapping of QTL regions and identification of putative candidate genes for drought tolerance in rice. *Molecular Genetics and Genomics*. v.272, p35-46.
- Ñústez, C., Santos, M., Segura, M. 2009. Acumulación y distribución de materia seca de cuatro variedades de papa (*Solanum tuberosum* L.) en Zipaquirá, Cundinamarca (Colombia). *Revista de la Facultad Nacional de Agronomía, Medellín*. v.62, n.1, p4823-4834.
- Obidiegwu, J., Bryan, G., Jones, H., Prashar, A. 2015. Coping with drought: stress and adaptive responses in potato and perspectives for improvement. *Frontiers in Plant Science*. v.6, p23.
- Ortega, J., Magne, J., Angulo, A., Veramendi, A. 2020. Selección de cultivares de papa (*Solanum tuberosum* L.) resistentes a sequía y heladas en Bolivia. *Revista Latinoamericana de la Papa*. v.24, n.2, p17-34. doi:10.37066/ralap.v24i2.405
- Osakabe, Y., Osakabe, K., Shinozaki, K., Tran, L. 2014. Response of plants to water stress. *Frontiers in Plant Science*. v.5, p8. doi: <https://doi.org/10.3389/fpls.2014.00086>
- Peña, F., León, J., Parra, V. 2019. Estudio de evaluación agronómica en el cultivo de papa (*Solanum spp.*) con tolerancia al déficit hídrico - Ecuador. *Revista de Investigación en Agroproducción Sustentable*. v.3, n.3, p37-46. doi: <http://dx.doi.org/10.25127/aps.20193.500>
- Pérez, L., Rodríguez, L., Gómez, M. 2008. Efecto del fraccionamiento de la fertilización con N, P, K, Mg y la aplicación de micronutrientes B, Mn y Zn en el rendimiento y calidad de la papa criolla (*Solanum phureja*) variedad Criolla Colombia. *Agronomía Colombiana*. v.26, n.3, p477-486.
- Porras, C. & Brenes, A. 2015. Calidad de los tubérculos y componentes de rendimiento de híbridos F1 de papa (*Solanum tuberosum*). *Agronomía Costarricense*. v.39, n.3, p37-46.
- Quishpe, R. & Andrade, H. 2017. Caracterización morfológica de dos clones de papa (*Solanum tuberosum* L.), en la provincia de Pichincha e Imbabura (Bachelor's thesis, Quito: UCE). Quito, Universidad Central del Ecuador. 106p. <http://www.dspace.uce.edu.ec/handle/25000/13832>; consulta: 6/10/2021.

- Ramos Galarza Hernán Bruce. 2018. Evaluación de las respuestas fisiológicas y rendimiento. Quito, Universidad de San Francisco de Quito. 86p. <https://repositorio.usfq.edu.ec/bitstream/23000/7907/1/141279.pdf>; consulta: 6/10/2021.
- Ritter Enrique, Aragonés Ana, Ruiz de Galarreta José Ignacio, Hernández Mónica, Barandalla Leire. 2017. Mapeo por asociación para detectar genes candidatos de tolerancia a estreses abióticos en papa. Memorias del VII congreso ecuatoriano de la papa. Kromann Peter, Cuesta Xavier, Montero Byron R., Cuasapaz Patricio, León-Reyes Antonio, Chulde Andrés (Editores). Carchi, Ecuador, CIP, INIAP. 210p. https://nfxms1019hx1xmtstxk3k9sko-wpengine.netdna-ssl.com/wp-content/uploads/2017/09/Libro_Memorias_VII_Congreso_Ecuatoriano_Papa_2017_1.pdf; consulta: 6/10/2021.
- Rivadeneria, J., Jaramillo, P., Fernández, E., Cuesta, X. 2020. Identificación de genotipos de papa con tolerancia al déficit hídrico. Maglar. v.17, n.4, p321-329.
- Rivera, R. 2004. Aislamiento y Cultivo de Protoplastos en maracuyá. Isolation and Cultive of Protoplast in Passion Fruit. Acta Biológica Colombia. v.9, n.2, p2-14.
- Robin, S., Pathan, M., Courtois, B., Lafitte, R., Carandang, S., Lanceras, S., Amante, M., Nguyen, H., Li, Z. 2003. Mapping osmotic adjustment in an advanced back-cross inbred population of rice. TAG Theoretical and Applied Genetics. v.107, p1288-1296.
- Rodríguez, A., Tejón, A., Sol, D., Morales, S. 2016. Respuestas de variedades de papa (*Solanum tuberosum* L.) al estrés por déficit hídrico. Agricultura Tropical. v.1, n.2, p1-7. <https://1library.co/document/zxvrv54y-respuestas-variedades-papa-solanum-tuberosum-estres-deficit-hidrico.html>; consulta: 8/10/2021.
- Rodríguez Pérez Loyla. 2015. Caracterización de la respuesta fisiológica de tres variedades de papa (*Solanum tuberosum* L.) bajo condiciones de estrés por déficit hídrico. Tesis de Doctorado en Ciencias Agrarias. Universidad Nacional de Colombia. 163p. <https://repositorio.unal.edu.co/bitstream/handle/unal/55548/797035.2016.pdf?sequence=1&isAllowed=y>; consulta: 8/10/2021.
- Rojas, L. & Seminario, J. 2014. Productividad de diez cultivares promisorios de papa chaucha (*Solanum tuberosum* grupo Phureja) de la región Cajamarca. Scientia Agropecuaria. v.5, n.1, p165-175.

- Rolando, J.L., Ramírez, D.A., Yactayo, W., Monneveux, P., Quiroz, R. 2015. Leaf greenness as a drought tolerance related trait in potato (*Solanum tuberosum* L.). *Environ. Exp. Bot.* v110, p27-35.
- Rossouw, F.T. & J. Waghmarae. 1995. The effect of drought on growth and yield of two South African potato cultivars. *South African Journal of Science.* v.91, p149–150.
- Santa Cruz, A. 2017. Influencia de la densidad de siembra en la dinámica de crecimiento y los componentes del rendimiento de dos cultivares de papa. Tesis de Maestría. Cajamarca, Perú, Universidad Nacional de Cajamarca, Escuela de Posgrados. 173p. <https://repositorio.unc.edu.pe/handle/UNC/1358>; consulta: 8/10/2021.
- Seminario, F., Seminario, A., Domínguez, A., Escalante, B. 2017. Rendimiento de cosecha de diecisiete cultivares de papa (*Solanum tuberosum* L.) del grupo Phureja. *Scientia Agropecuaria.* v.8, n.3, p181–191. Doi: <http://dx.doi.org/10.17268/sci.agropecu.2017.03.01>.
- Teulat, B., Merah, O., Sirault, X., Borries, C., Waugh, R., This, D. 2002. QTLs for grain carbon isotope discrimination in field-grown barley. *TAG Theoretical and Applied Genetics.* v.106, p118-126.
- Tourneux, C., Devaux, A., Camacho, M., Mamani, P., Ledent, J. 2003. Effects of water shortage on six potato genotypes in the highlands of Bolivia (I): morphological parameters, growth and yield. *Agronomie.* v.23, p169-179.
- Tubay, G., Cedeño, G., Guzmán, A., Cedeño, J. 2015. Contenido clorofílico del tomate en función de la edad del cultivo y daño ocasionado por *Prodidiplosis longifila*. Escuela Superior Politécnica Agropecuaria de Manabí Manuel Félix López
- Velasquez, 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. Memorias VII Congreso Ecuatoriano La Papa – Adaptación al cambio climático.
- Yactayo, W. & Sánchez, M. 2015. Eficiencia de uso de agua de la papa en respuesta a la aplicación de diferentes niveles de riego utilizando el riego parcial en condiciones de invernadero. *Anales Científicos.* v.76, n.1, p29-37.
- Yatapanage, K. & So, G. 2001. The relationship between leaf water potential and stem diameter in sorghum, *Agronomy Journal.* v.93, p1341-1343.
- Zegada Lizarazu, W. & Monti, A. 2013. Photosynthetic response of sweet sorghum to drought and re-watering at different growth stages. *Physiol. Plant.* v.149, n.1, p56-66. doi: 10.1111/ppl.12016



Capítulo

6

Respuesta de genotipos
de *Solanum tuberosum*
grupo Phureja a diferentes
niveles de fertilización
y densidades de siembra

- *Carolina Martínez*¹
- *Tulio César Lagos-Burbano*²

6.1 Resumen

El rendimiento y la calidad de tubérculos en papa criolla dependen, en gran parte, de la densidad de siembra utilizada en el establecimiento del cultivo, de la disponibilidad de nutrientes en el suelo y la fertilización aplicada. El objetivo fue evaluar la respuesta de genotipos de papa criolla a diferentes niveles de fertilización (NF) y distancias de siembra (DS). Los ensayos se hicieron en tres localidades del departamento de Nariño. En cada localidad, se utilizó el diseño de Parcelas Divididas con cuatro repeticiones. En la parcela principal se ubicaron cuatro NF que correspondieron a 0, 60, 70 y 80% de la fórmula 180 kg de N, 540 kg de P_2O_5 y 180 kg de K_2O por hectárea, utilizada por los agricultores. En las subparcelas se ubicaron los genotipos y en los bloques, las DS. Las correlaciones entre el número de tallos, número de estolones, índice del contenido de clorofila (ICC) y rendimiento (Rto) en los

-
1. Ing. Agrónoma, Ph.D. Grupo de Investigación en Producción de Frutales Andinos, Universidad de Nariño (UDENAR), Ciudadela Universitaria Torobajo, 520008, Pasto, Nariño, e-mail: caromar88@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0001-5336-1510>
 2. Ing. Agrónomo, Ph.D. Universidad de Nariño, Facultad de Ciencias Agrícolas, Grupo de Investigación en Producción de Frutales Andinos GPFA. San Juan de Pasto, Nariño, Colombia, e-mail: tclagosb@udenar.edu.co, <https://orcid.org/0000-0001-9222-4674>

genotipos de papa criolla (*Solanum tuberosum* grupo Phureja) fueron de baja magnitud, con excepción de la relación ICC vs NE e ICC vs Rto, que fueron moderada y alta, respectivamente. Los tratamientos de mejor Rto en Botana, Gualmatán e Ipiales fueron UdenarStCr10, UdenarStCr42, UdenarStCr45 y UdenarStCr54 en los NF de 60 a 70%. UdenarStCr10 fue el de mejor comportamiento en todos los NF y DS en las tres localidades evaluadas. Estos genotipos son promisorios como parentales en programas de fitomejoramiento de papa criolla y pueden ser recomendados para cultivos con bajos niveles de fertilización.

Palabras clave: agronomía, papa criolla, calidad de tubérculo, nutrición, rendimiento.

6.2 Abstract

The yield and quality of tubers in criolla potato depend, to a large extent, on the planting density used in the establishment of the crop, the availability of nutrients in the soil and the fertilization applied. The objective was to evaluate the response of criolla potato genotypes at different levels of fertilization (LF) and planting distances (PD). The tests were carried out in three locations in Nariño. In each locality, the Split Plots design with four replications was used. In the main plot, four LF were located that correspond to 0, 60, 70 and 80% of the formula 180 kg of N, 540 kg of P_2O_5 and 180 kg of K_2O per hectare, used by farmers. In the subplots the genotypes were located and in the blocks, the PD. The correlations between the number of stems, number of stolons, chlorophyll content index (CCI) and yield in the criolla potato genotypes (*Solanum tuberosum* group Phureja) were of low magnitude, with the exception of the ICC vs. NE and ICC vs Rto, which were moderate and high, respectively. The treatments with the best yield in Botana, Gualmatán and Ipiales were UdenarStCr10, UdenarStCr42, UdenarStCr45 and UdenarStCr54 in the LF of 60 to 70%. UdenarStCr10 had the best performance in all the LF and DS in the three localities evaluated. These genotypes are

promising as parents in breeding programs for criolla potatoes and can be recommended for crops with low levels of fertilization.

Keywords: agronomy, criolla potato, tuber quality, nutrition, yield.

6.3 Introducción

La papa es el cultivo alimenticio no cereal más importante del mundo (CIP, 2021). Ocupa el tercer puesto en consumo a nivel mundial después del arroz y el trigo. Además, la papa produce más alimentos en menos tierra y más rápido que cualquier cultivo importante. Una hectárea de papas puede producir un cultivo con un valor alimenticio de más de cuatro hectáreas de grano y el doble de proteína por hectárea de trigo. Además, las papas son ricas en vitamina C, proteínas y calcio y buen equilibrio de aminoácidos. Además, el alto contenido de nutrientes, la capacidad de adaptación a los entornos marginales, la relativa facilidad de cultivo y el bajo costo y la alta productividad son atributos que hacen de la papa una de las fuentes principales e importantes de alimentos e ingresos para los ciudadanos desfavorecidos de los países en desarrollo de todo el mundo (CIP, 2021).

Según Martínez (2006), la papa criolla, representa aproximadamente entre el 7 y 10% de la papa producida anualmente en Colombia y se cultiva principalmente en los departamentos de Cundinamarca, Boyacá, Antioquia y Nariño. Este grupo taxonómico tiene su principal centro de diversidad al sur de Colombia, en el departamento de Nariño y presenta una excelente aceptación por parte del consumidor nacional en razón de sus características culinarias (sabor, color, harinosidad).

La fertilización del cultivo de la papa es una práctica fundamental para incrementar el rendimiento y la calidad de los tubérculos y puede representar alrededor del 39% de los costos totales de producción (Morales *et al.*, 2013). En la región Andina de Colombia se aplican altas dosis de fertilizantes químicos y orgánicos, aunque no se tiene todavía un criterio bien definido sobre los beneficios que proporcionan esas prácticas (Ríos Quinchoa *et al.*, 2010), que

disminuyen drásticamente la rentabilidad de los productores de papa y afectan el ambiente de los suelos usados para su cultivo. Los mayores requerimientos son de nitrógeno, fósforo, y potasio, elementos que causan limitaciones de producción. Debido a su marcada interacción, que ha sido comprobada (Torres & Suárez, 2014) y a su alto requerimiento en las funciones fisiológicas de la planta ya que son primordiales debido al evidente efecto que tienen sobre la producción y la respuesta positiva a la aplicación simultánea de estos (Barrera & Ramírez, 2016).

El nitrógeno juega un papel importante en el desarrollo de la planta, por ejemplo, aumenta la expansión de la hoja y la relación de fotosíntesis por unidad de área. Sin embargo, el N aplicado en la agricultura puede perderse y podría convertirse en un potencial contaminante. La eficiencia de uso de N (NUE) es la relación entre la cantidad de fertilizante que el cultivo extrae del campo y la cantidad de fertilizante que se aplica. Cada paso de la planta NUE, que incluye la absorción de N, el transporte, la asimilación y la movilización, está regulado por factores genéticos y ambientales (Saravia *et al.*, 2016).

Por otra parte, los suelos de Nariño, son derivados de cenizas volcánicas, donde los contenidos de fósforo son muy bajos. En suelos de origen volcánico del departamento de Nariño, se encontró que la mayor parte del fósforo estaba unido a la materia orgánica, siguiendo en su orden el fósforo unido al hierro, al hierro ocluido, al aluminio y una pequeña porción al calcio. Estos se caracterizan por su capacidad de reaccionar rápidamente con grandes cantidades de fósforo, en particular en condiciones ácidas (Egawa, 1980). En el caso de la papa el coeficiente de eficiencia de los fertilizantes nitrogenados es del 65%, de los fosforados es de 50 a 90% y los potásicos están en función de caliza y del contenido de arcilla. Estos elementos, determinan las dosis óptimas de fertilización nitrogenada y fosfórica (Morales *et al.*, 2013).

Es importante mencionar que el cultivo de la papa se caracteriza por presentar altos niveles de diversidad genética intra específica con miles de variedades nativas que se cultivan desde Chile has-

ta Colombia (De Haan *et al.*, 2013). Esta diversidad es relevante en planes de selección que busquen genotipos que se adapten a condiciones bióticas y abióticas extremas que disminuyen la productividad y la calidad de la cosecha. En este caso puntual, genotipos con buena respuesta agronómica a condiciones de baja disponibilidad de nutrientes.

En este contexto, es importante determinar evaluar y seleccionar genotipos a bajos niveles de fertilización en diferentes densidades de siembra, ya que en el rendimiento se consideran dos factores: el número y el tamaño de los tubérculos. Los tubérculos producidos con altas densidades de siembra son de menor tamaño que los producidos con bajas densidades de siembra. García & Pantoja (2004) reportan que la aplicación de materia orgánica en el cultivo de papa criolla en dosis de 5t/ha y de abono químico a base de N, P, K incrementa la producción de 11 a 17t/ha. Otros estudios muestran mayores rendimientos como respuesta de la papa criolla (*Solanum tuberosum* grupo Phureja) a la aplicación de materia orgánica en combinación con mineral en condiciones de la Sabana de Bogotá, Colombia (Alvarado & Ramírez, 2016).

Se ha informado que la eficiencia general de los fertilizantes nitrogenados aplicados es de alrededor o menos del 50% (Baligar *et al.*, 2001). Obtener genotipos de rendimiento satisfactorio con baja fertilización en N, es uno de los desafíos más difíciles para los mejoradores (Saravia *et al.*, 2016). La fertilización química en la fórmula 180-160-200, incrementó el rendimiento total de tubérculos y altura de planta en un estudio realizado en Perú, en la variedad Huayro. El incremento se dio cuando se aplicó fertilización química y, la adición de abonos orgánicos, no incrementó el rendimiento total. Tanto el abonamiento químico como orgánico incrementaron el rendimiento comercial, destacándose el compost alto en carbono. La fertilización química fue el factor más determinante sobre la extracción de N, P y K por el cultivo de papa. La mayor extracción de N, P y K por tonelada de tubérculos cosechados se obtuvo cuando la fertilización química se complementó con compost bajo en carbono. La eficiencia de absorción de nitrógeno fue alta en la fertilización química y más

baja en la combinación de fertilizantes orgánicos e inorgánicos (Campos, 2014).

Variables fisiológicas como la cobertura del dosel, el contenido de clorofila y el índice de vegetación de diferencia normalizada, entre otros, están relacionados con la nutrición de N y muestran la aptitud de las plantas bajo estrés y podrían ser indicadores útiles para la selección de genotipos en programas de mejoramiento genético por tolerancia al estrés (Anithakumari *et al.*, 2012; Cabello *et al.*, 2013).

El objetivo del presente trabajo fue evaluar la respuesta de ocho genotipos de papa criolla a diferentes niveles de fertilización y densidades de siembra en tres localidades del departamento de Nariño ubicadas en la Granja Experimental Botana de la Universidad de Nariño (Altiplano de Pasto), municipio de Ipiales y municipio de Gualmatán.

6.4 Materiales y métodos



Figura 6.1. Montaje de ensayos para la evaluación de la respuesta de genotipos de papa criolla (*Solanum tuberosum* grupo Phureja) a diferentes niveles de fertilización y densidades de siembra.

Esta investigación se realizó en dos fases. En la primera, se evaluaron 115 genotipos de papa criolla, donde se seleccionaron los ocho mejores genotipos por su alto rendimiento en condiciones de bajos niveles de fertilización. El trabajo se llevó a cabo en la Granja Experimental Botana de la Universidad de Nariño. En la segunda fase, los ocho genotipos seleccionados en la fase uno más el testigo comercial Yema de huevo (UdenarStCr40) se evaluaron en tres localidades del departamento de Nariño: Gualmatán (4°31.5'LN 77°33'58.5"LO, 2711msnm), Botana (Altiplano de Pasto, 9°26.3'LN 77°16'32.6"LO, 2820msnm), San Juan (Ipiales), 3°38.3'LN 77°32'56.4"LO, 2471msnm) (Figura 6.1).

Tabla 6.1. Principales características de los genotipos de papa criolla (*Solanum tuberosum* grupo Phureja) evaluados con diferentes niveles de fertilización y distancias de siembra en tres localidades del departamento de Nariño.

No.	Genotipo	DAF	MSTu	PE	Aceite (%)	Rto
1	UdenarStCr1	64,75	28,15	1,04	37,33	18,02
2	UdenarStCr10	62,75	21,99	1,05	38,11	24,93
3	UdenarStCr40	63,90	21,21	1,04	35,58	12,51
4	UdenarStCr42	64,90	34,90	1,04	34,43	19,73
5	UdenarStCr45	64,88	25,19	1,03	35,02	17,21
6	UdenarStCr46	65,25	21,92	1,03	33,94	17,45
7	UdenarStCr54	62,63	23,90	1,03	33,66	16,16
8	UdenarStCr63	63,06	24,18	1,03	32,67	17,36
9	UdenarStCr140	64,50	21,31	1,05	33,97	11,24

DAF= días a floración, MSTu= materia seca de tubérculo (%), PE= peso específico, Aceite (%)= porcentaje de aceite retenido por la papa frita, Rto= rendimiento (t/ha).

Se utilizó el diseño de Parcelas Divididas con cuatro repeticiones. En la parcela principal, se ubicaron los niveles de fertilización teniendo en cuenta la fertilización convencional de la zona (FC) que corresponde a una dosis de 900 kg/ha de 10-30-10: Nivel 1: 80% de la FC, Nivel 2: 70%FC, Nivel 3: 60%FC y Nivel 4: 0%FC. En las sub parcelas se dispusieron los genotipos (Tabla 6.1). La

subparcela estuvo formada por dos surcos de 10 plantas cada uno. Las distancias de siembra de cada uno de los bloques, fueron las siguientes: bloque 1 = 1m entre surcos y 0,20m entre plantas, bloque 2 = 1m entre surcos y 0,30m entre plantas, bloque 3 = 1m entre surcos y 0,35m entre plantas, y bloque 4 = 1m entre surcos y 0,40m entre plantas.

Variables evaluadas. Las variables evaluadas fueron las siguientes:

Índice de contenido de Clorofila (ICC). El contenido de clorofila se determinó 30 días después de la aplicación de la segunda fertilización a través del medidor de clorofila MC-100 Apogee Instruments en tres posiciones (parte superior, media e inferior) y tomando dos hojas por planta y cinco puntos en cada hoja completamente expandida y promediada para representar la medición individual de una hoja (Li *et al.*, 2012).

Número de tallos primarios por planta (NT). Se contabilizó el número de tallos en tres plantas de la parcela útil. Esta evaluación se realizó al inicio de la floración en cada uno de los genotipos estudiados.

Número de estolones (NE). En la época de cosecha, se obtuvo el promedio del número de estolones por planta.

Rendimiento (Rto). Para el Rto, se pesaron los tubérculos de la parcela experimental, los cuales se clasificaron en dos categorías, según se describen en Vega (2015). Con base en estos pesos y en las distancias de siembra, se estimó el rendimiento comercial en t/ha (Rto).

Análisis de los resultados. Se realizó el Análisis de Varianza (ANDEVA) con base en el diseño de Parcelas Divididas. Se evaluaron los supuestos de normalidad, homogeneidad e independencia de residuales mediante inspección de su distribución en función de los valores ajustados y los cuantiles de distribución normal. Estos supuestos se cumplieron y, por lo tanto, las conclusiones de

los análisis estadísticos son válidas. Se utilizó el software R-studio para estos análisis. También se calcularon los coeficientes de correlación de Pearson para las cuatro variables estudiadas. Todos los análisis se trabajaron bajo los niveles de significancia de alfa igual a 0,05 y de confianza del 95%. El ANDEVA, el Análisis de Correlación y las pruebas de comparación de medias se hicieron con el paquete SAS 9.4 (SAS Institute Inc., 2013).

6.5 Resultados y discusión

En la Tabla 6.2, se muestra el ANDEVA del diseño Parcelas Divididas para el índice de contenido de clorofila (ICC), número de tallos primarios por planta (NT), número de estolones por planta (NE) y rendimiento (Rto) en t/ha evaluadas bajo cuatro niveles de fertilización (NF) en diez genotipos de papa criolla (*S. tuberosum* grupo Phureja) y con cuatro distancias de siembra como bloques, en tres localidades del departamento de Nariño.

Los datos obtenidos en la localidad de Botana indican un efecto significativo de las distancias de siembra en NT y NE, de los niveles de fertilización (NF), de genotipos (G) y de la interacción NFxG en todas las variables excepto en NT. La fertilización tuvo un efecto mayor que el genotipo y que NFxG en la varianza del rendimiento. Así mismo, para la localidad de Gualmatán, el ANDEVA muestra un efecto significativo en el genotipo para todas las variables evaluadas. En el caso del Rto, se observa que además del genotipo, también fueron significativos los efectos de distancia de siembra (DS), NF y NFxG. A semejanza de Botana, la fertilización tuvo un efecto mayor que el G y la interacción NFxG sobre la varianza del rendimiento. En San Juan (Ipiales), los efectos fueron similares a los de Botana con efectos significativos para NF y G en todas las variables excepto para NT y con una interacción NFxG significativa solo para Rto. Además, la varianza de NF fue mayor que las varianzas de G y NFxG, tal como se observó en Botana y Gualmatán (Tabla 6.2).

Tabla 6.2. Cuadrados medios del ANDEVA para los factores niveles de fertilización y genotipos bajo el diseño Parcelas Divididas para cuatro variables de *Solanum tuberosum* grupo Phureja, evaluadas en tres localidades del departamento de Nariño.

Botana	FV	GL	ICC	NT	NE	Rto
Bloque (distancias de siembra)		3	73,66ns	24,77*	89,31*	10,79ns
Niveles fertilización (NF)		3	259,89*	3,60ns	106,96*	491,18*
Error a		9	53,66	6,05	9,17	12,02
Genotipo (G)		8	103,02*	1,95ns	40,22*	215,33*
NF x G		24	16,51ns	1,63ns	20,60*	7,57*
Error b		96	15,70	1,64	4,08	3,25
R ²			0,64	0,55	0,79	0,92
CV			16,63	27,31	11,74	10,70
Media			23,83	6,013	17,21	16,85
Gualmatán	FV	GL	ICC	NT	NE	Rto
Bloque (distancias de siembra)		3	83,29ns	1,41ns	252,12*	286,66*
Niveles fertilización (NF)		3	205,49ns	24,91ns	48,07ns	2167,48*
Error a		9	102,24	7,25	18,88	42,00
Genotipo (G)		8	304,84*	21,21*	176,48*	753,1*
NF x G		24	95,79ns	2,17ns	27,55ns	62,18*
Error b		96	123,44	3,32	22,18	33,28
R ²			0,35	0,53	0,60	0,82
CV			58,00	26,42	32,69	16,84
Media			19,15	6,89	14,41	34,25
San Juan (IpiALES)	FV	GL	ICC	NT	NE	Rto
Bloque (distancias de siembra)		3	9,70ns	5,50ns	21,51ns	14,49ns
Niveles fertilización (NF)		3	27,89*	7,69ns	41,13*	391,03*
Error a		9	3,78	3,58	9,91	11,11
Genotipo (G)		8	9,93*	2,69ns	39,88*	147,50*
NF x G		24	1,11ns	2,72ns	6,074ns	24,50*
Error b		96	1,64	2,86	7,60	8,18
R ²			0,62	0,37	0,50	0,80
CV			9,36	26,92	24,44	15,24
Media			13,67	6,28	11,27	18,76

* = diferencias significativas a un $\alpha = 0,05$, ns = diferencia no significativa. ICC = índice de contenido de clorofila, NT = número de tallos primarios por planta, NE = número de estolones por planta, Rto = rendimiento (t/ha).

La interacción NFXG significa que el efecto de la fertilización sobre el rendimiento produjo un cambio de mérito de los G a través de los NF. Según Boydston *et al.* (2017), las variedades de papa Bintje y Ciklamen con niveles de nitrógeno 34, 38, 67 y 101 kg N ha⁻¹, el nivel de nitrógeno no fue relevante en el número de tubérculos y de tallos por planta en las dos variedades, pero a medida que el nivel de nitrógeno se incrementó. Se observó que el área foliar aumentó en las dos variedades. Igualmente, el daño mecánico de la piel del tubérculo, la pérdida de peso del tubérculo y la distribución del tamaño no se afectaron por el nivel de nitrógeno. Además, las papas precoces, generalmente, se producen con menos fertilizante nitrogenado que un cultivo de papa tardío, ya que los altos niveles de nitrógeno pueden retrasar la tuberización y conducir a un excesivo crecimiento del follaje.

En la Tabla 6.3 se observa el Análisis de Correlación de Pearson entre el ICC, el NT, el NE y el Rto. En general, las correlaciones fueron no significativas. El ICC presentó una correlación baja en Botana y moderada en Ipiales. En otros estudios, se ha demostrado la existencia de una correlación positiva entre el ICC con el contenido de N de las hojas, y los medidores de clorofila se utilizan como un indicador indirecto del estado del N de la planta, con el verdor y el grosor de las hojas (Vos & Bom, 1993; Wu *et al.*, 2007; Gholizadeh *et al.*, 2017). Croce (2012) sostiene que la acumulación de clorofila en los tejidos fotosintéticos, puede tener influencia sobre el rendimiento de las plantas.

En Ipiales, se observó una correlación alta entre el ICC y el NE, el que a su vez, se relacionó moderadamente con el Rto; sin embargo, es necesario estudiar este tipo de asociaciones a nivel genético. Esto es importante, para establecer estrategias de selección de materiales genéticos, donde es necesario encontrar variables auxiliares relacionadas con el Rto, con el fin de hacer más eficientes los progresos de selección (Cerón-Rojas & Crossa, 2018).

Según Saravia (2016), en estudios realizados en Lima (Perú), con dos genotipos de papa en condiciones de estrés hídrico y fertilización con N, el ICC fue un buen indicador para predecir

déficits de nitrógeno y para detectar agobio temprano por sequía. Los resultados de este estudio indican que a mayor ICC se obtuvo mayor rendimiento, además, el ICC es un indicador del estado nutricional de las plantas con respecto al N. Una nutrición suficiente con N da como resultado una mayor eficiencia en el uso del agua, debido a que la mayor parte del N de la hoja se utiliza para sintetizar componentes del aparato fotosintético, en particular RuBisCo, el cual desempeña un papel importante en la asimilación de carbono (Costa *et al.*, 1997; Croce, 2012).

Tabla 6.3. Análisis de Correlación entre el índice del contenido de clorofila (ICC), número de tallos primarios por planta (NT), número de estolones (NE) y rendimiento (Rto), evaluados en genotipos de *Solanum tuberosum* grupo Phureja bajo diferentes niveles de fertilización en tres localidades del departamento de Nariño.

Botana				
Variable	ICC	NT	NE	Rto
ICC	1	ns	-0,17*	0,23*
NT		1	0,28*	0,17*
NE			1	ns
Gualmatán				
Variable	ICC	NT	NE	Rto
ICC	1	0,24**	ns	ns
NT		1	ns	ns
NE			1	0,19*
San Juan (Ipiales)				
Variable	ICC	NT	NE	Rto
ICC	1	0,17*	0,55*	0,32*
NT		1	ns	ns
NE			1	0,30*

* = correlación significativa a un $\alpha=0,05$.

En Botana, bajo el NF 0% se obtuvieron los menores Rtos en contraste con los otros tres NF. En este nivel, el Rto mínimo (6,23t/ha) fue para el testigo (0 3) UdenarStCr40 (Yema de Huevo) y el máximo (15,94t/ha) para UdenarStCr10 (0 2), que presentó diferencias significativas con los demás genotipos dentro del NF 0%. Además, del tratamiento (0 2), los genotipos de mejor Rto fueron

UdenarStCr63 (0 8) y UdenarStCr1 (0 1) con promedios de 14,10 y 12,96t/ha (Figura 6.2).

En el NF 60% de la media del Rto fue de 17,97t/ha. Los promedios de Rto oscilaron entre 11,32t/ha (testigo) y 24,61t/ha del genotipo UdenarStCr10 (60 2). Del mismo modo que en NF 0%, este genotipo superó al 89% de los demás materiales genéticos dentro de este nivel. UdenarStCr42, UdenarStCr45 y UdenarStCr63 sobresalieron sobre el 37,5% de los componentes del NF 60% con Rtos entre 19,19 y 21,02t/ha. En NF 70% los Rtos presentaron un promedio de 19,0t/ha con un rango de 14,41t/ha (UdenarStCr140 (70 10)) hasta 26,42t/ha (UdenarStCr10 (70 2)). UdenarStCr10 presentó diferencias con el 89% de los genotipos dentro del 70% de fertilización. Después de este genotipo, los Rtos más altos se presentaron en UdenarStCr1, UdenarStCr42 y UdenarStCr45 con promedios entre 19,34 y 22,27t/ha (Figura 6.2).

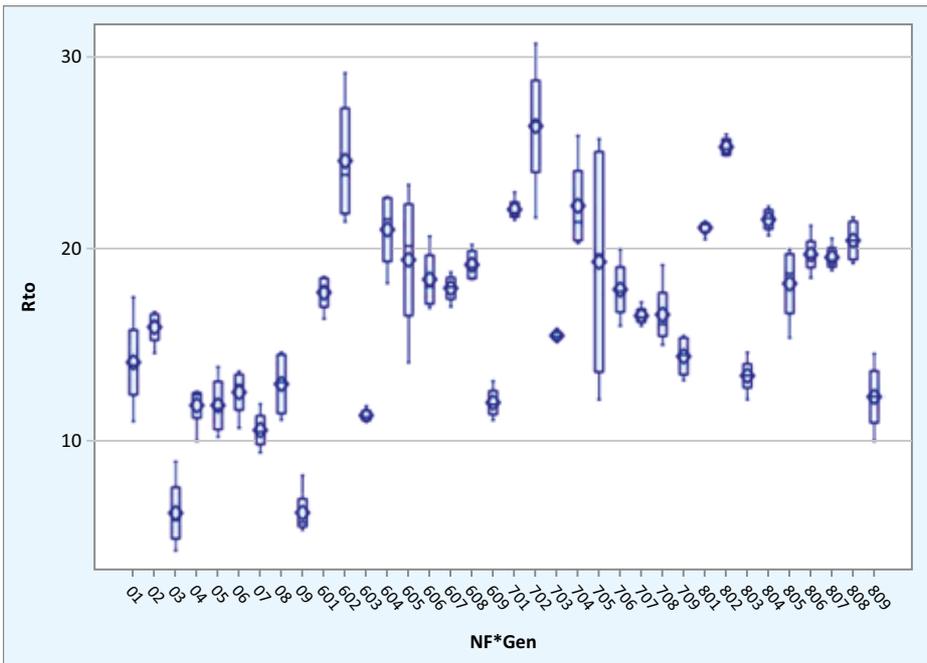


Figura 6.2. Distribución del rendimiento en la interacción niveles de fertilización por genotipos de *Solanum tuberosum* grupo Phureja (NF*Gen) evaluada en la Granja de Botana, Universidad de Nariño (Altiplano de Pasto).

El promedio de NF 80% fue muy parecido al de NF 70% con un Rto de 19,07t/ha. Los valores mínimo y máximo de Rto en este NF, los obtuvieron UdenarStCr140 (80 9) con 12,29t/ha y UdenarStCr10 (80 2) con 25,33t/ha. A excepción del testigo (80 3) y UdenarStCr45 (80 5), los demás obtuvieron Rtos que oscilaron entre 19,57 y 21,56 t/ha (Figura 6.2). Las mayores ganancias de Rto entre N 60% y NF 80%, se obtuvieron con el testigo con un 15,5% y UdenarStCr1 con un 16%.

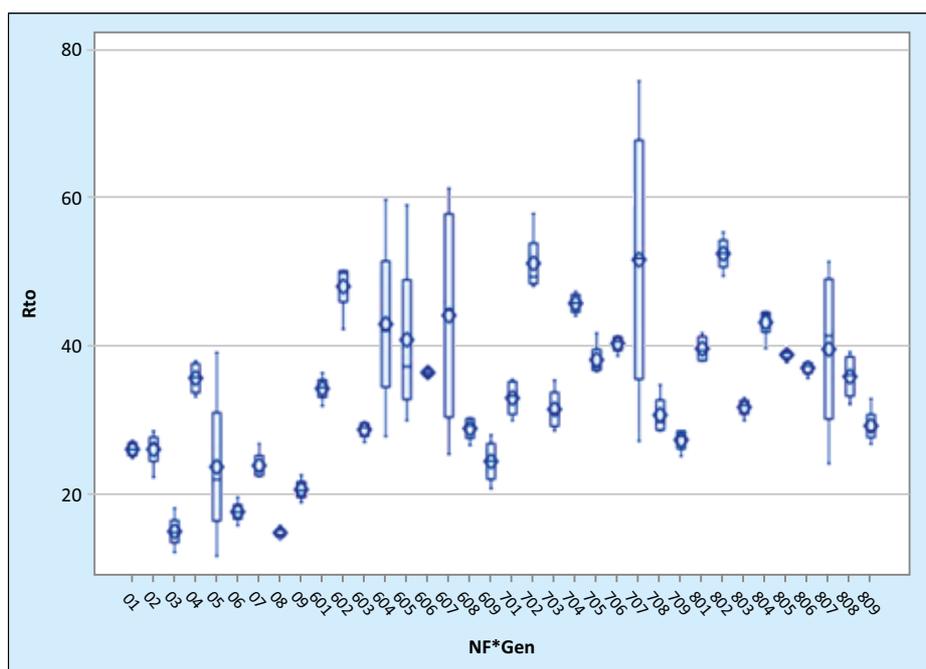


Figura 6.3. Distribución del rendimiento en la interacción niveles de fertilización por genotipos de *Solanum tuberosum* grupo Phureja (NF*Gen) evaluada en una localidad del municipio de Gualmatán.

En la Figura 6.3 se muestra la distribución del Rto en la interacción NFxG de Gualmatán. Para el NF 0%, el menor promedio fue obtenido por el genotipo UdenarStCr63 (0 8) con un Rto de 14,91t/ha y el más alto lo obtuvo UdenarStCr42 (0 4) con 35,79t/ha. Los genotipos UdenarStCr1 (0 1), UdenarStCr10 (0 2), UdenarStCr54 (0 7) y UdenarStCr45 (0 5) no presentaron diferencias significativas

entre sus promedios, con valores entre 23,81 y 26,19t/ha. El testigo UdenarStCr40 (0 3) con un Rto de 15,10t/ha fue superado por el 77,8% de los genotipos y se encuentra por debajo del promedio del NF 0% que corresponde a 22,72t/ha.

Para el NF 60%, los promedios de Rto oscilan entre 24,57t/ha (UdenarStCr140 (60 9)) y 48,13t/ha (UdenarStCr10 (60 2)), con un promedio de 36,63t/ha, el cual sobrepasa en 13,9t/ha al promedio de NF 0%. Los genotipos UdenarStCr10 (60 2) y UdenarStCr54 (60 7) con 48,13 y 44,22t/ha, en su orden, no presentaron diferencias significativas entre sus promedios y alcanzaron los valores más altos para este nivel. Con respecto al testigo, UdenarStCr40 (60 3) obtuvo un Rto de 28,82t/ha, el cual es superado por el 77,8% de los genotipos (Figura 6.3).

En la distribución del Rto en la interacción NFxG para NF 70% (Figura 6.3), el promedio del nivel corresponde a 38,94t/ha, que supera a los demás NF. Se destacan los promedios obtenidos por los genotipos UdenarStCr54 (70 7) y UdenarStCr10 (70 2) con promedios estadísticamente similares (51,75 y 51,25t/ha, respectivamente), seguidos de UdenarStCr42 (70 4) con un Rto de 45,85t/ha. El menor Rto fue obtenido por UdenarStCr140 (70 9) con 27,44t/ha, ubicado por debajo del promedio del nivel y del testigo (UdenarStCr40 (70 3)) que obtuvo un Rto de 31,57t/ha.

Por último, en esta localidad, el NF 80% obtuvo un promedio de 38,73t/ha con Rtos que oscilan entre 29,32t/ha (UdenarStCr140 (80 9)) y 52,56t/ha (UdenarStCr10 (80 2)). El testigo UdenarStCr40 (80 3) obtuvo el promedio más alto entre los NF con 31,85t/ha; no obstante, sigue superado por el 77,8% de los genotipos en este nivel. Se destacan los promedios de UdenarStCr42 (80 4), UdenarStCr1 (80 1) y UdenarStCr54 (80 7) con Rtos estadísticamente similares de 43,31, 39,76 y 39,69t/ha, en su orden.

Acorde con los resultados mencionados anteriormente, a través de los cuatro NF evaluados en Gualmatán, se observa un comportamiento sobresaliente para el Rto en los genotipos UdenarStCr10, UdenarStCr42 y UdenarStCr54. En el caso de UdenarStCr10, se obtuvo una ganancia de 26,37t/ha entre NF 0% y NF 80%, es decir,

un incremento en el potencial productivo del 100%, entre estos niveles. Para UdenarStCr42, el incremento se da entre NF 0% y NF 70% con un 28,12% (10,06t/ha) y una disminución de Rto entre NF 70% y NF 80% de 2,54t/ha, lo que indica que NF 70% permite obtener los mejores Rtos para este genotipo. Por último, el genotipo UdenarStCr54, presenta un comportamiento similar al anterior, con un incremento de Rto del 115,6% entre NF 0% y NF 70% que corresponde a una ganancia de 27,75t/ha y una disminución al pasar al NF 80% de 12,07t/ha, por lo tanto, los mejores resultados para este genotipo se obtienen en el NF 70%.

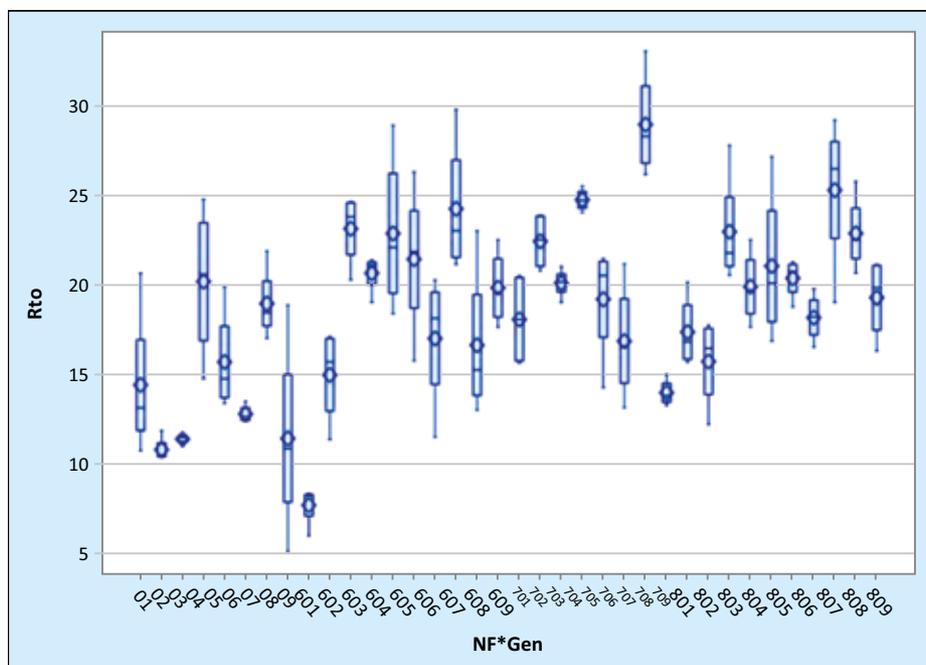


Figura 6.4. Distribución del rendimiento en la interacción niveles de fertilización por genotipos de *Solanum tuberosum* grupo Phureja (NF*Gen) evaluada en una localidad del municipio de Ipiales.

En la Figura 6.4 se observa la distribución del Rto en la interacción NFxG de la localidad ubicada en el municipio de Ipiales. Para el NF 0% se obtuvo un Rto promedio de 13,83t/ha. El menor promedio fue para el genotipo UdenarStCr140 (0 9) con 7,84t/ha y el Rto más alto, lo obtuvieron los genotipos UdenarStCr42 (0 4)

con 20,28t/ha y UdenarStCr54 con 19,06t/ha, los cuales fueron estadísticamente iguales. Los siguen los genotipos UdenarStCr1 (0 1) y UdenarStCr45 (0 5), con Rtos de 14,53 y 15,81/ha, respectivamente.

Para el NF 60%, los Rtos oscilaron entre 15,09t/ha (UdenarStCr1 (60 1)) y 24,34t/ha (UdenarStCr54 (60 7)), con un promedio de 20,19t/ha, el cual supera en 6,36t/ha al promedio de NF 0%. Los genotipos UdenarStCr10 (60 2) y UdenarStCr42 (60 4) con 23,23 y 22,97t/ha, en su orden, no presentaron diferencias significativas entre sus promedios y alcanzaron valores de Rto sobresalientes en este nivel. Con respecto al testigo UdenarStCr40 (60 3), fue uno de los genotipos con más alto Rto entre los NF con 20,75 t/ha, superado por el 44,4% de los genotipos (Figura 6.4).

En la distribución del Rto en la interacción NFxG para NF 70% (Figura 6.4), el promedio del nivel corresponde a 20,29t/ha, que fue superior a NF 0% y NF 60%. Se destacan los promedios obtenidos por los genotipos UdenarStCr54 (70 7) con 29,03t/ha, seguido de UdenarStCr42 (70 4) y UdenarStCr10 con promedios estadísticamente similares de 24,84 y 22,53t/ha, respectivamente. El menor Rto correspondió a UdenarStCr63 (70 8) con 14,09t/ha, ubicado por debajo del promedio del nivel y por debajo del testigo (UdenarStCr40 (70 3)) que obtuvo un Rto de 20,19t/ha.

En NF 80% obtuvo el promedio más alto entre los NF con 20,73t/ha, con Rtos que oscilan entre 15,84t/ha (UdenarStCr1 (80 1)) y 25,38t/ha (UdenarStCr54 (80 7)). El testigo UdenarStCr40 (80 3) alcanzó un promedio de 20,0t/ha, superado por el 55,6% de los genotipos en este nivel. Se destacan los promedios de UdenarStCr54 (80 7) y UdenarStCr10 (80 2) (23,06t/ha) son estadísticamente similares.

En los resultados de los cuatro NF evaluados en Ipiales se observa un comportamiento sobresaliente para el Rto en los genotipos UdenarStCr42 y UdenarStCr54. Para UdenarStCr42 la ganancia de Rto fue de 4,56t/ha entre NF 0% y NF 70%, con una disminución en NF 80% de 3,69t/ha, lo cual indica que el mejor nivel para obtener Rtos sobresalientes para este genotipo corresponde a NF 70%. Para UdenarStCr54 se obtuvo una ganancia de 9,96t/ha

entre NF 0% y NF 70%. En este último nivel, se presentó el Rto más alto entre los genotipos (29,03t/ha).

Valverde & Bobadilla (2017), en la región de Quipachacha (Perú), evaluaron el efecto de tres densidades de siembra y diferentes dosis de fertilización química sobre el rendimiento de papa variedad Luyanita INIA-322. Concluyeron que el tratamiento 0,2m entre plantas, 1m entre surcos y una dosis de 140 kg de N, 120 kg de P_2O_5 y de 100 kg de K_2O por hectárea, obtuvo el rendimiento más alto con 24,95t/ha. Por otra parte, Castillo (2019) en la región de Huaripampa (Perú) obtuvo un rendimiento con 75,8t/ha en la variedad de papa Yungay con 200 kg de N, 200 kg de P_2O_5 y 160 kg de K_2O por hectárea. Densidades de siembra y dosis de potasio (K) óptimas son algunos de los factores importantes para la producción de papa *Solanum tuberosum*, ya que están asociados con la fisiología del cultivo y el mejoramiento de su calidad y productividad (Santos, 2010). Adicionalmente, Silva *et al.* (2017) aseguran que las densidades de siembra y dosis de K evaluadas en la variedad criolla Guaneña en el departamento de Nariño, influyeron en el comportamiento del área foliar, el índice de área foliar y el índice del contenido de clorofila en *Solanum tuberosum* grupo Phureja var. Criolla Guaneña. Se confirmó que a menores densidades de siembra, se obtiene un mayor rendimiento debido a que los factores fisiológicos se ven favorecidos.

Los resultados obtenidos son similares a lo descrito por Mora *et al.* (2021) en el que se observa un efecto positivo de la fertilización en el rendimiento del cultivo de papa en Carchi (Ecuador); no obstante, la planta es capaz de asimilar una mayor cantidad de nutrientes con una cantidad mínima de elementos proporcionados en la fertilización, y en este sentido, se justifica explorar dosis mínimas de fertilización para evitar el desperdicio de fertilizante y así mismo, disminuir los costos de producción del cultivo. En este caso, la fertilización que hacen los agricultores en la zona donde se realizó este estudio, de 900 kg/ha de 10-30-10 que equivale a 180 kg de N, 540 de P_2O_5 y 180 kg de K_2O por hectárea, puede reducirse a dosis de fertilizante que tengan entre el 60 y el 70% de esta fórmula.

Aplicar niveles más altos de fertilizantes de 70%, no aumenta significativamente el rendimiento, bien sea porque la planta no es capaz de asimilarlo o porque solo requiere de la extracción de cierta cantidad de elementos y, por el contrario, se convierte en un incremento innecesario de los costos de producción y en un problema ambiental ya que el sistema de raíces poco profundas de las variedades modernas de papa frecuentemente resulta en una alta tasa de lixiviación y, en consecuencia, en la contaminación de las aguas subterráneas (Levallois *et al.*, 1998; Núñez & Acevedo, 2005; Morales *et al.*, 2013; Mora *et al.*, 2021).

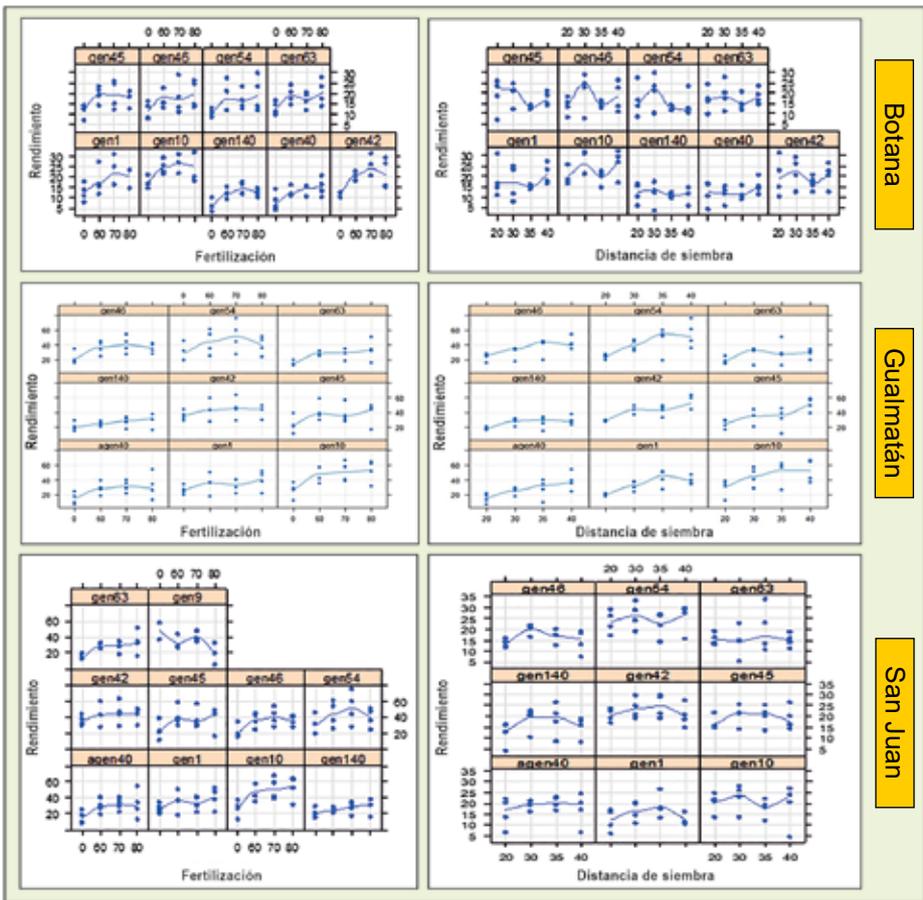


Figura 6.5. Variación del rendimiento en función de la fertilización y la distancia de siembra, para cada genotipo. Las líneas representan regresiones polinomiales locales ponderadas.

Respecto a la distancia de siembra, su efecto solo fue significativo en el municipio de Gualmatán, pero no en las otras localidades. Esto plantea la necesidad de incluirla en el modelo para una estimación adecuada. Al examinar la Figura 6.5, se puede observar que el efecto de la distancia de siembra no es igual para todos los genotipos, donde existe mucha heterogeneidad que produce efectos en el rendimiento. Sin embargo, para el genotipo UdenarStCr54, que fue el de mejor rendimiento en San Juan, la mejor distancia fue 30cm entre plantas.

Teniendo en cuenta que el interés de esta investigación se orientó hacia la selección de genotipos de buen comportamiento a bajos niveles de fertilización, se puede destacar que los genotipos que frecuentemente se destacan a través de los NF 60% y NF 70% en las tres localidades fueron UdenarStCr10, UdenarStCr42, UdenarStCr45 y UdenarStCr54. Estos genotipos pueden servir como parentales en programas de mejoramiento genético o bien ser usados directamente por los productores para contribuir a incrementar su rentabilidad. El ambiente juega un papel importante en la respuesta genética de la planta, pero es claro que el genotipo UdenarStCr10 es un candidato promisorio para producir en cualquier nivel de fertilización e incrementa su Rto hasta las dosis del 80% de fertilización, pero sin diferencias con el 70%.

Teniendo en cuenta estos resultados, la eficiencia general de los fertilizantes de N es alrededor del 50% (Baligar *et al.*, 2001). Payne *et al.* (1995) y Costa *et al.* (1997) afirman que la interacción entre genotipo, cantidad de nitrógeno, nivel de humedad y tipo de suelo definen la eficiencia de uso de nitrógeno (NUE). Por lo general, hay dos procesos fundamentales que definen la NUE, la capacidad de la planta para tomar N del suelo y la capacidad de la planta para utilizar el N absorbido para el desarrollo de los órganos, donde la eficiencia de ambos procesos depende de varios factores abióticos y bióticos (Hirel *et al.*, 2007).

Según Boydston *et al.* (2017), las variedades de papa Bintje y Ciklamen sometidas a dosis de nitrógeno de 34, 38, 67 y 101 kg N ha⁻¹, no mostraron efectos relevantes en el número de tubérculos

y de tallos por planta, pero a medida que el nivel de nitrógeno se incrementó, también incrementó el área foliar. Igualmente, se observó que el daño mecánico de la piel del tubérculo, la pérdida de peso del tubérculo y la distribución del tamaño no se afectó por el nivel de nitrógeno. Además, las papas precoces generalmente se producen con menos fertilizante nitrogenado que un cultivo de papa tardío, ya que los altos niveles de nitrógeno pueden retrasar la tuberización y conducir a un excesivo crecimiento del follaje.

Así mismo, en ensayos realizados en los departamentos de Cundinamarca, Boyacá y Antioquia (Colombia), donde se evaluó el efecto de la fertilización fosfórica foliar y edáfica en la variedad Capiro, se observó un incremento en la producción de tubérculos hasta la dosis de 200 kg/ha (Ñustez & Acevedo, 2005). Roza & Ñustez (2011) encontró en la variedad Criolla Colombia (*Solanum tuberosum* Grupo Phureja), una respuesta por encima del nivel 0 kg/ha de P_2O_5 , hasta el nivel de 50 kg/ha, en un suelo con un nivel de fósforo de 14,2 ppm, ausencia de aluminio intercambiable y de textura franca. Becerra *et al.* (2007) compararon los resultados anteriores con los obtenidos por ellos en un ensayo de eficiencia en la toma del fósforo edáfico del cultivar Criolla Guaneña en dos localidades del municipio de Pasto (Obonuco y Jamondino). Concluyeron que ese cultivar es más eficiente en la toma del fósforo edáfico con respecto al cultivar Criolla Colombia. Además, sugieren que la respuesta del rendimiento de la papa criolla no es directamente proporcional a la aplicación de dosis crecientes de fósforo, y que se relaciona más con el potencial de rendimiento de la variedad, y con su eficiencia para extraer nutrientes del suelo. En el mismo estudio, los autores afirman que existió una falta de respuesta del cultivar Criolla Guaneña a la aplicación edáfica de potasio en dosis superiores a 50 kg/ha de K_2O , aunque se debe tener en cuenta que el nivel de potasio encontrado en las dos localidades fue alto y su absorción se vio favorecida por la textura franca del suelo, por una alta CIC ($18,19 \text{ meq} \cdot 100^{-1} \text{ g}$), y un adecuado balance catiónico con el calcio y el magnesio, factores del suelo que contribuyeron a explicar la falta de respuesta del cultivar Criolla Guaneña.

Es interesante observar el comportamiento bajo el NF 0% de los genotipos UdenarStCr42 en Gualmatán y San Juan (Ipiales), UdenarStCr10 en Botana y UdenarStCr54 en San Juan, los cuales exhiben un gran potencial de asimilación y/o absorción de los nutrientes existentes en el suelo de cada localidad, lo que sugiere que se debe investigar los factores relacionados con la capacidad de asimilación y absorción de los nutrientes presentes en el suelo. Así, Saravia *et al.* (2016) afirma que la obtención de genotipos con rendimiento satisfactorio a una fertilización baja en N es uno de los desafíos más difíciles para el mejoramiento de cultivares eficientes a la absorción de este elemento.

6.6 Conclusiones

Las correlaciones entre el número de tallos, número de estolones (NE), índice del contenido de clorofila (ICC) y rendimiento (Rto) en los genotipos de papa criolla (*Solanum tuberosum* grupo Phureja) fueron de baja magnitud, a excepción de las relaciones ICC vs NE e ICC vs Rto, que fueron moderada y alta, en su orden. Los tratamientos de mejor comportamiento en el Rto de Botana, Gualmatán e Ipiales fueron UdenarStCr10, UdenarStCr42, UdenarStCr45 y UdenarStCr54 en los niveles de fertilización de 60 a 70% de la fórmula 180 kg de N, 540 kg de P₂O₅ y 180 kg de K₂O por hectárea, utilizada por los agricultores. El genotipo UdenarStCr10 fue el de mejor comportamiento en todos los niveles de fertilización en las tres localidades antes mencionadas.

6.7 Bibliografía capítulo 6

Alvarado, J. & Ramírez, M. 2016. Respuesta de la papa criolla (*Solanum phureja*) a diferentes aplicaciones de fertilización orgánico mineral en Bogotá, Cundinamarca. Tesis de pregrado. Universidad de Ciencias Aplicadas y Ambientales. Bogotá, Cundinamarca. 67p. <https://repository.udca.edu.co/bitstream/handle/11158/936/TRABAJO%20DE%20GRADO%20totalmente%20final.pdf?sequence=1&isAllowed=y>; consulta: 15/10/2021.

Anithakumari, A.M., Nataraja, K.N., Visser, R.G., van der Linden, C.G. 2012. Genetic dissection of drought tolerance and recovery potential by quan-

- titative trait locus mapping of a diploid potato population. *Molecular Breeding*. v.30, p1413–1429.
- Baligar, V.C., Fageria, N.K., He, Z.L. 2001. Nutrient use efficiency in plants. *Communications In Soil Science And Plant Analysis*. v. 32, p921–950.
- Barrera, J.A. & Ramírez, M.A. 2016. Respuesta de la papa criolla (*Solanum phureja*) a diferentes aplicaciones de fertilización orgánico mineral en Bogotá, Cundinamarca. Trabajo de grado Ing. Agrónomo. Universidad de Ciencias Aplicadas y Ambientales. 67p. <https://repository.udca.edu.co/bitstream/handle/11158/936/TRABAJO%20DE%20GRADO%20totalmente%20final.pdf?sequence=1&isAllowed=y>; consulta: 15/10/2021.
- Baligar, V.C., N.K. Fageria, Z.L. He. 2001. Nutrient use efficiency in plants. *Communications In Soil Science And Plant Analysis*. v.32, p921–950. doi: <https://doi.org/10.1081/CSS-100104098>
- Becerra, L.A., Navia, S.L. Núñez, C.E. 2007. Efecto de niveles de fósforo y potasio sobre el rendimiento del cultivar Criolla Guaneña en el departamento de Nariño. *Rev. Latinoam. Papa*. v.14, n.1, p51-60.
- Boydston, R.A., Navarre, D.A., Collins, H.P. 2017. The Effect of Nitrogen Rate on Vine Kill, Tuber Skinning Injury, Tuber Yield and Size Distribution, and Tuber Nutrients and Phytonutrients in Two Potato Cultivars Grown for Early Potato Production. *Am. J. Potato Res.* v. 94, p425-436. <https://doi.org/10.1007/s12230-017-9579-z>
- Cabello, R., Monneveux, P., De Mendiburu, F., Bonierbale, M. 2013. Comparison of yield based drought tolerance indices in improved varieties, genetic stocks and landraces of potato (*Solanum tuberosum* L.). *Euphytica*. v.193: 147–156.
- Campos, C.R. 2014. Efecto de la fertilización en el rendimiento y características biométricas del cultivo de papa variedad huayro en la comunidad de Aramachay (valle del Mantaro). Tesis de pregrado. Universidad Nacional Agraria La Molina. 89p. <http://repositorio.lamolina.edu.pe/bitstream/handle/UNALM/1390/t007202.pdf?sequence=1&isAllowed=y>; consulta: 15/10/2021.
- Castillo, M. 2019. Efecto de tres niveles de fertilización en el Rendimiento del cultivo de papa (*Solanum tuberosum*), Variedad yungay, en el centro poblado de Huaripampa. Tesis de pregrado. Huaraz, Perú, Universidad Nacional Santiago Antúnez de Mayolo. p60. http://repositorio.unasam.edu.pe/bitstream/handle/UNASAM/3498/T033_47670213_T.pdf?sequence=1&isAllowed=y; consulta: 15/10/2021.

- Cerón-Rojas J. Jesús & Crossa José. 2018. Linear selection indices in modern plant breeding. Gewerbestrasse, Cham, Switzerland, Springer Open. 256p. doi: <https://doi.org/10.1007/978-3-319-91223-3>, <https://library.oapen.org/bitstream/id/f9da7d4f-ebd6-4ad3-8bba-3715b73092a4/1007227.pdf>; consulta: 29/06/2021.
- CIP. Centro Internacional de la Papa. 2017. ¿Por qué son importantes las papas? Lima, Perú. 2p. Disponible en: <https://hdl.handle.net/10568/87959>; consulta: 13/02/2021.
- Costa, L., Vedove, G., Gianquinto, G., Giovanardi, R., Peressotti, A. 1997. Yield, water use efficiency and nitrogen uptake in potato: influence of drought stress. *Potato Research*. v.40, p19–34. doi: <https://doi.org/10.1007/BF02407559>
- Croce, R. 2012. Chlorophyll-binding proteins of higher plants and cyanobacteria. *Photosynthesis*. v.34, p127–149.
- De Haan, S., Núñez, J., Bonierbale, M., Ghislain, M., van der Maesen, J. 2013. A Simple Sequence Repeat (SSR) marker comparison of a large in and ex-situ potato landrace cultivar collection from Peru reaffirms the complementary nature of both conservation strategies. *Diversity*. v.5, p505-521.
- Egawa, T. 1980. Propiedades de los suelos derivados de cenizas volcánicas. En: Ishizuka, Y. & Black, C. A. (Eds.). *Suelos derivados de cenizas volcánicas en Japón*. CIMMYT, México D. F. p14-67.
- Gholizadeh, A., Saberioon, M., Borůvka, L., Wayayok, A., Mohd Soom, M. 2017. Leaf chlorophyll and nitrogen dynamics and their relationship to lowland rice yield for site-specific paddy management. *Information Processing in Agriculture*. v.4, n.4, p259-268.
- Hirel, B., Le Gouis, J., Ney, B., Gallais, A.. 2007. The challenge of improving nitrogen use efficiency in crop plants: towards a more central role for genetic variability and quantitative genetics within integrated approaches. *Journal of Experimental Botany*. v.58, n.9, p2369–2387. Doi: <https://doi.org/10.1093/jxb/erm097>
- Levallois, P., Theriault, M., Rouffignat, J., Tessier, S., Landry, R., Ayotte, P., Girard, M., Gingras, S., Gauvin, D., Chiasson, C. 1998. Groundwater contamination by nitrates associated with intensive potato culture in Quebec. *Science of the Total Environment*. v.217, p91–101.
- Li, L., Qin, Y.L., Liu, Y.C., Hu, Y.C., Fan, M.S. 2012. Leaf Positions of potato suitable for determination of nitrogen Content with a SPAD meter. *Plant Production Science*. v.15, n.4, p317–322. doi: <https://doi.org/10.1626/plps.15.317>

- Martínez, H. 2006. La cadena de la papa en Colombia. Una mirada global de su estructura y dinámica 1991-2005. Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural. Observatorio Agrocadenas Colombia. p38. Disponible en: <http://www.agrocadenas.gov.co/agrocadenas@iica.int>; consulta: 04/04/2021.
- Mora Quilismal Segundo Ramiro, Flores Ayala Steven, Chulde Minda John, Puetate Mejía Luis. 2021. Alternativas de fertilización empleando bioestimulantes y biofertilizantes para el cultivo de papa (*Solanum tuberosum* L.) en Montúfar - Carchi. Sembrador. v.16, n.1, p132-143. doi: <https://doi.org/10.32645/13906925.1045>
- Morales Hernández, J.L., Hernández Martínez, J., Rebollar Rebollar, S. 2013. Rendimiento de papa con fuentes de fertilización mineral en un Andosol del Estado de México. Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas. v.4, n.6, p881-893. http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2007-09342013000600005; consulta: 15/20/2021.
- Ñústez, C.E. & Acevedo, J.C. 2005. Evaluación del uso de *Penicillium janthinellum* Biourge sobre la eficiencia de la fertilización fosfórica en el cultivo de la papa (*Solanum tuberosum* L. var. Diacol Capiro). Agronomía Colombiana. v.23, n.2, p290-298.
- Payne, W.A., Hossner, L.R., Onken, A.B., Wendt, C.W. 1995. Nitrogen and phosphorus uptake in Pearl Millet and its relation to nutrient and transpiration efficiency. Agronomy Journal. v.87, p425-431. doi: <https://doi.org/10.2134/aj1995.00021962008700030007x>
- Ríos Quinchoa, J.Y., Jaramillo Villegas, S., González Santamaría, L.H., Cotes Torres, J. 2010. Determinación del efecto de diferentes niveles de fertilización en papa (*Solanum tuberosum* ssp. Andígena) Diacol Capiro en un suelo con propiedades Andicas de Santa Rosa de Osos, Colombia. Revista Facultad Nacional de Agronomía Medellín. v.63, n.1, p5225-5237. <https://revistas.unal.edu.co/index.php/refame/article/view/24943>; consulta: 13/10/2021.
- Rozo M. Yohana Carolina & Ñústez L. Carlos Eduardo. 2011. Efecto de niveles de fósforo y potasio sobre el rendimiento de la variedad Criolla Colombia en el departamento de Cundinamarca. Agronomía Colombiana. v.29, n.2, p205-212. <http://www.scielo.org.co/pdf/agc/v29n2/v29n2a6.pdf>; consulta: 15/10/2021.
- Santos, M. 2010. Evaluación del crecimiento, desarrollo y componentes de rendimiento de cuatro cultivares de papa criolla en dos localidades del departamento de Cundinamarca. Trabajo de grado Ingeniero Agrónomo. Bogotá, Universidad Nacional de Colombia, 126p. <https://repositorio.unal.edu.co/bitstream/handle/unal/11327/790678.2010.pdf?sequence=1&isAllowed=y>; consulta: 15/10/2021.

- Saravia, D., Farfán-Vignolo, E.R., Gutiérrez, R., De Mendiburu, F., Schafleitner, R., Bonierbale, M.W., Khan, M.A. 2016. Yield and physiological response of potatoes indicate different strategies to cope with drought stress and nitrogen fertilization. *American Journal of Potato Research*. v.93, p288-295. Doi: <https://doi.org/10.1007/s12230-016-9505-9>
- SAS Institute Inc. 2013. SAS® 9.4 Statements: Reference. Cary, NC: SAS Institute Inc. <https://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.353.6870&rep=rep1&type=pdf>; consulta: 13/10/2021.
- Silva, A., Albornoz, C., Criollo, H. 2017. Efecto del potasio y la densidad de siembra en la producción de papa *Solanum tuberosum* grupo Phureja var. Criolla Guaneña. *Temas Agrarios*. v.23, n.1, p37-46.
- Torres B. & Suárez, M. 2014. Nutrient uptake of the criolla potato (*Solanum phureja* var. Galeras) for the determination of critical nutritional levels. *Agronomía Colombiana*. v.32, n.1, p59- 69. doi: <https://dx.doi.org/10.15446/agron.colomb.v32n1.41811>
- Valverde, L. & Bobadilla, L. 2017. Efecto de tres densidades de siembra y diferentes dosis de fertilización química en el rendimiento de papa variedad Luyanita INIA-322 propagadas mediante brotes. *Agroproducción Sustentable*. v.1, n.3, p7-13. doi: [10.25127/aps.20173.368](https://doi.org/10.25127/aps.20173.368)
- Vega, C. 2015. Evaluación de la producción de papa criolla *Solanum phureja* clon Paisa en contenedores de polietileno de alta densidad bajo el marco de Agricultura urbana. *Revista Luna Azul*. v.40, p35-46. doi: [10.17151/luaz.2015.40.4](https://doi.org/10.17151/luaz.2015.40.4).
- Vos, J. & Bom, M.1993. Hand-held chlorophyll meter a promising tool to assess the nitrogen status of potato foliage. *Potato Research*. v.36, p301–308. doi: <https://doi.org/10.1007/BF02361796>
- Wu, J.D., Wang, D., Rosen, C.J., Bauer, M.E. 2007. Comparison of petiole nitrate concentrations, SPAD chlorophyll readings, and QuickBird satellite imagery in detecting nitrogen status of potato canopies. *Field Crops Research*. v. 101, n.1, p96-103. doi: [10.1016/j.fcr.2006.09.014](https://doi.org/10.1016/j.fcr.2006.09.014)



Capítulo

7

Respuesta de 11 genotipos de papa criolla (*Solanum tuberosum* Grupos Phureja y Andígena) a *Phytophthora infestans* (Mont.) de Bary

- **Patricia Alexandra Ordóñez-Abrigo**¹
- **Tulio César Lagos-Burbano**²

7.1 Resumen

El principal problema biótico que presenta la papa en las regiones productoras de América Latina y el mundo es la gota, lancha o tizón tardío, causada por *Phytophthora infestans*. Una de las estrategias para lograr un manejo de esta enfermedad es el mejoramiento genético, por lo tanto, el objetivo de este trabajo fue evaluar la respuesta de 11 genotipos de papa criolla, al inóculo natural de *P. infestans* bajo condiciones del municipio de Pasto, departamento de Nariño (Colombia). Se utilizó el Diseño de Parcelas Divididas con cuatro repeticiones. En las parcelas principales se ubicó el tratamiento químico con tres aplicaciones de fungicidas en un intervalo de 10 días y el tratamiento sin control químico. En las subparcelas, se distribuyeron al azar los genotipos de papa. Las variables evaluadas fueron: severidad (%), área bajo la curva

-
1. Ing. Agrónomo. M.Sc. Agencia de Regulación y Control Fito y Zoonosanitaria - AGRO-CALIDAD, Área de Sanidad Vegetal. Riobamba, Chimborazo, Ecuador; e-mail: patriciaordonez.agr@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0001-6778-8638>
 2. Ing. Agrónomo, Ph.D. Universidad de Nariño, Facultad de Ciencias Agrícolas, Grupo de Investigación en Producción de Frutales Andinos GPFA. San Juan de Pasto, Nariño, Colombia, e-mail: tclagosb@udenar.edu.co, <https://orcid.org/0000-0001-9222-4674>

del progreso de la enfermedad (ABCPE), tasa de desarrollo de la enfermedad (TD) y rendimiento total (Rto). En las parcelas con protección química, UdenarStCr131 y UdenarStCr11 con 27,69 y 27,67 t ha⁻¹, respectivamente, obtuvieron los Rtos más altos con una baja TD (0,07 unidades/día); por lo tanto, fueron los de mejor comportamiento ante el inóculo natural. En las parcelas sin protección química, se destacaron UdenarStCr11, UdenarStCr61, UdenarStCr131, con Rtos entre 19,60 y 21,96 t ha⁻¹, con los valores más bajos de TD (0,06 a 0,08 unidades/día), lo cual permitió definirlos como tolerantes. Estos genotipos pueden ser considerados como parentales potenciales para un programa de mejoramiento genético enfocado a obtener cultivares mejorados con tolerancia a gota.

Palabras clave: enfermedad, gota, tizón tardío, incidencia, severidad, resistencia, tolerancia, ABCPE.

7.2 Abstract

The main biotic problem in potato production regions in Latin America and the world is the disease gout, lanche and late blight caused by *Phytophthora infestans*. One of the strategies to achieve an integrated management of this disease is genetic improvement, therefore, the objective of this work was to evaluate the response of 11 genotypes of criolla potato to natural inoculum of *P. infestans* under conditions of the municipality of Pasto, department of Nariño (Colombia). A Split Plot Design with four replications was used. In the main plots, the chemical treatment with three fungicide applications at an interval of 10 days and the treatment without chemical control were placed. In the subplots, the potato genotypes were randomly distributed. The traits evaluated were: severity (%), area under the progress curve of the disease (AUD-PC), rate of development (RD) of the disease and total yield (Yld). In the plots with chemical protection, UdenarStCr131 and UdenarStCr11 with 27.69 and 27.67 t ha⁻¹, respectively, obtained the highest Ylds with a low RD (0.07 units/day); therefore, they were the best performers against the disease; while in, plots without

chemical protection, UdenarStCr11, UdenarStCr61, UdenarStCr131 stood out, with Ylds between 19.60 and 21.96 t ha⁻¹ with the lowest values of RD (0.06 to 0.08 units/day), which allowed defining them as tolerant; hence, they could be considered as potential parents for a genetic improvement programme focused on obtaining improved cultivars with tolerance to gout.

Keywords: disease, gout, late blight, incidence, severity, resistance, tolerance, ABCPE.

7.3 Introducción

Dentro de la actividad agrícola en Colombia, el cultivo de la papa tiene una participación promedio en los cultivos transitorios del 23%. Ocupa el segundo lugar en producción e históricamente ha tenido una parte importante del gasto en la canasta básica de los hogares colombianos (FEDEPAPA, 2018; Agronet, 2021).

En el año 2018 el área total sembrada de papa en el país fue de 94.129,79 ha, correspondiendo a papa criolla 8.460 ha, con un rendimiento de 14,21 t ha⁻¹. Como principales departamentos productores están Cundinamarca, Boyacá y Nariño, este último presentó un área cosechada de 1.314 hectáreas, con una producción de 16.494,25 t y un rendimiento de 12,55 t ha⁻¹ (Agronet, 2018).

La producción de papa se ha limitado debido a las condiciones climáticas favorables para gota o tizón tardío (*Phytophthora infestans*), al uso de variedades susceptibles y a las limitaciones socioeconómicas de los productores (Silva *et al.*, 2010). La gota es considerada como uno de los problemas fitosanitarios más limitantes y destructivos de la papa en el mundo (Rojas *et al.*, 2019), siendo la principal enfermedad del cultivo en Colombia (Restrepo & Núñez, 2014).

Se ha estimado que los costos mundiales de control de *P. infestans* ascienden a \$2.750 millones de dólares al año (Castillo *et al.*, 2020), con diez o más aplicaciones foliares por ciclo de cultivo para lograr la rentabilidad. Es importante destacar que sumada la participación de los fertilizantes, abonos, correctivos y los insumos para el control de plagas y enfermedades, representan un 35% de

los costos totales, lo que indica claramente la dependencia de la rentabilidad del cultivo al costo de estos insumos (Minagricultura, 2018). Los agricultores se enfrentan a problemas fitosanitarios que se traducen en bajos rendimientos de las cosechas con pérdidas anuales de hasta el 40% (Santa *et al.*, 2018).

En Colombia, en el caso de variedades criollas, la Universidad Nacional sede Bogotá, ha lanzado variedades con diferentes tipos de reacción a la enfermedad. Entre estas están: Betina, Criolla Guaneña, Criolla Paisa, Esmeralda, Pastusa Suprema, Criolla Galeras y Criolla Latina (Ñustez, 2010). Sin embargo, tanto el mantenimiento de los niveles de resistencia o tolerancia de estas variedades, así como la efectividad de los fungicidas que se utilizan para su control, dependen de las prácticas de manejo y de la dinámica evolutiva de *P. infestans* en cada región productora (Silva *et al.*, 2010).

Tanto a nivel internacional, nacional y regional se han realizado estudios tendientes a la identificación y selección de genotipos de papa que permitan justificar el desarrollo de mejoramiento genético y la obtención de variedades mejoradas con tolerancia o resistencia a *P. infestans*. Es así como en Perú, en las localidades de Calca, Urubamba y Quispacanchi, se han realizados estudios de adaptabilidad y estabilidad que permitieron realizar la liberación de una nueva variedad de papa denominada Morada-CICA con alta resistencia a *P. infestans*, obtenida a partir de cinco ciclos de selección de segregantes de hermanos completos de clones F1 realizados entre variedades comerciales y nativas con tolerancias al patógeno (Catalán *et al.*, 2020).

En Ecuador, mediante la evaluación de resistencia a tizón tardío a través de características de rendimiento y resultados de la curva de progreso de la enfermedad, se evaluaron 19 clones y cinco variedades, que permitieron identificar nueve clones con resistencia que pueden ser seleccionados como progenitores para incluirlos en esquemas de mejoramiento (Rivadeneira *et al.*, 2019). En estudios realizados en el altiplano de Pasto, departamento de Nariño, se evaluaron 76 introducciones de papa guata bajo condiciones de

inóculo natural de *P. infestans*, con las que mediante análisis de componentes principales y de clasificación jerárquica, se logro discriminar entre introducciones tolerantes y moderadamente tolerantes, siendo estas consideradas como una potencial fuente de tolerancia a *P. infestans* (Lagos *et al.*, 2021).

A pesar de que se han lanzado variedades mejoradas con resistencia moderada a gota, éstas se han ido perdiendo a través del tiempo, forzando al agricultor a utilizar como única herramienta de control el uso indiscriminado de fungicidas, de ahí la necesidad de identificar fuentes de resistencia o tolerancia en variedades locales y nativas dentro de *Solanum tuberosum* Grupo Phureja y Andígena, que puedan ser utilizadas como parentales en futuros trabajos de mejoramiento.

Acorde con lo anterior, el objetivo del presente estudio fue determinar la respuesta de once genotipos de la papa criolla (*Solanum tuberosum* Grupo Phureja y Andígena), frente a la enfermedad *P. infestans*, bajo condiciones de inóculo natural con miras a determinar al menos un genotipo, por su buen desempeño agronómicos respecto a rendimiento y resistencia o tolerancia a gota.

7.4 Materiales y métodos

Localización. La investigación se llevó a cabo en la Granja Experimental Botana de la Universidad de Nariño, municipio de Pasto, sur de Colombia. Con temperatura media de 12°C, ubicada a 2.820 msnm en las coordenadas 01°09'12"LN y 77°18'31"LO, con precipitación anual de 800 mm y humedad relativa del 82% (IDEAM, 2018). La textura del suelo es arcillo arenoso, con pH de 5,9 (Moderadamente ácido) y bajo contenido de materia orgánica (3,4%) (UDENAR, 2017).

Material vegetal. Se evaluaron diez selecciones de genotipo de papa criolla (*Solanum tuberosum* Grupo Phureja y Andígena) y un testigo, los cuales provienen de la Colección Central Colombiana y de la colección de trabajo de la Universidad de Nariño (Tabla 7.1). Como testigo comercial, se empleó la variedad Yema de Huevo, que es susceptible al patógeno (UdenarStCr040).

Tabla 7.1. Genotipos de papa criolla evaluados por su reacción al inóculo natural de gota (*P. infestans*) bajo condiciones del Altiplano de Pasto.

No.	Material genético	Grupo	Departamento	Municipio	Altitud (msnm)
1	UdenarStCr01	<i>Phureja</i>	Nariño	Cumbal	3089
2	UdenarStCr011	<i>Phureja</i>	Nariño	Pasto	2719
3	UdenarStCr017	<i>Phureja</i>	Nariño	Pasto	2727
4	UdenarStCr019	<i>Phureja</i>	Nariño	Pasto	2730
5	UdenarStCr045	<i>Phureja</i>	Nariño	Córdoba	2897
6	UdenarStCr060	<i>Phureja</i>	Nariño	Pasto	2806
7	UdenarStCr061	<i>Phureja</i>	Nariño	Córdoba	2897
8	UdenarStCr130	<i>Andígena</i>	Quindío	Calarcá	1619
9	UdenarStCr131	<i>Andígena</i>	Quindío	Calarcá	1619
10	UdenarStCr135	<i>Andígena</i>	Boyacá	Boavita	2220
11	UdenarStCr040 (T)	<i>Phureja</i>	Nariño	Cumbal	3090

Diseño experimental. Se utilizó el diseño de Parcelas Divididas con cuatro repeticiones. En la parcela principal se ubicó el tipo de control con dos modalidades, con y sin fungicida. En las sub parcelas se ubicaron los 11 materiales genéticos, que corresponden a las 10 selecciones y el testigo Yema de Huevo. El área experimental del ensayo fue de 1136,64m² (Figura 7.1). La distancia de siembra entre plantas fue de 0,40m y entre surcos de 1,2m. La sub parcela tuvo un área de 63,36m². La parcela experimental constó de dos surcos con seis plantas cada uno, con un área de 5,76m² para evitar el efecto de bordes. No se evaluaron las plantas de las cabeceras. En los bordes laterales se sembró la variedad Yema de Huevo, variedad susceptible a gota y cebada como barrera viva entre sub parcelas.

En las parcelas con aplicación de fungicida se utilizó la metodología propuesta por Barquero *et al.* (2005). Cuando el 80% de las plantas emergieron, se realizó una aplicación de fungicida con base en clorotalonil en una dosis de 6cm³L⁻¹, repitiendo la misma dosis con intervalos de 10 días. Luego se aplicó cymoxanily + mancozeb en una dosis de 5g L⁻¹ del producto comercial, con el fin de proteger las plantas emergidas del ataque de *P. infestans*,

dado que si la infección aparece cuando la planta es aún muy pequeña, es difícil apreciar la diferencia entre genotipos resistentes y susceptibles (Forbes *et al.*, 2014), por lo que es importante la uniformidad y el tamaño del ensayo.

Variables evaluadas. Las variables evaluadas correspondieron a la severidad, área bajo la curva de progreso de la enfermedad, tasa de desarrollo, número de tubérculos por planta y rendimiento, las cuales se describen a continuación.

Severidad (S). La S de la enfermedad se estimó en las unidades experimentales cada siete días, de acuerdo con la escala propuesta por Henfling (1987). Se realizaron 11 lecturas a partir de los 47 días después de la siembra. Estas evaluaciones se hicieron desde que se observaron los primeros síntomas de la enfermedad hasta que las plantas alcanzaron el pico más alto de severidad (100%) en los materiales genéticos más susceptibles (Forbes *et al.*, 2014).



Figura 7.1. Ensayo de evaluación de la respuesta de 11 genotipos de papa criolla (*S. tuberosum* Grupos Phureja y Andígena) a *P. infestans* (Mont.) de Bary en el departamento de Nariño (Colombia).

Área bajo la curva de progreso de la enfermedad (ABCPE). Los porcentajes de severidad registrados en diferentes momentos durante la epidemia se usaron para calcular el área bajo la curva del progreso de la enfermedad o ABCPE (del acrónimo en inglés AUDPC, area under disease progress curve), mediante la aplicación de la siguiente fórmula (Fry, 1978):

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

Donde t = tiempo de cada lectura; Y = porcentaje de follaje afectado en cada lectura; n = número de lecturas.

Tasa de desarrollo (TD). Para el cálculo de la tasa de desarrollo (TD) de cada genotipo, se utilizaron las evaluaciones correspondientes a lectura inicial y la lectura final de la severidad, con los cuales se obtuvo el valor de TD con base en la fórmula propuesta por Van der Plank (1963):

$$TD = \frac{1}{t} \left(\text{Log}_e \frac{X_f}{1 - X_f} - \text{Log}_e \frac{X_i}{1 - X_i} \right)$$

Donde TD = Tasa de desarrollo de la enfermedad; Log_e = Logaritmo natural; X_f = Enfermedad final; X_i = Enfermedad inicial; t = Tiempo transcurrido durante las lecturas inicial y final.

Número de tubérculos por planta (NTP). Para evaluar el número de tubérculos se realizó el conteo por planta. Para ello, se tomaron cuatro plantas al azar del surco central de cada unidad experimental y con los valores registrados se obtuvieron los promedios por planta.

Rendimiento (Rto). Al final de la cosecha, se determinó el rendimiento en $t \text{ ha}^{-1}$ (Sánchez & Meza, 2015).

Índice de selección (IS). Los genotipos evaluados provienen de una parcela de selección, con base en un índice de selección (IS) compuesto por variables de mayor importancia para diferenciar

introducciones sobresalientes en cuanto al rendimiento por planta (Rto) y a la respuesta ante *P. infestans* (Lagos *et al.*, 2020).

Acorde con la metodología de Lagos (2012), para aplicar el IS, el primer paso es estandarizar (E) los valores de cada una de las variables que lo componen mediante la ecuación:

$$E = \frac{X_{ij} - \bar{X}}{S}$$

Donde: X_{ij} = Observación de la variable j-ésima en la introducción i-ésima, \bar{X} = Promedio general de la variable j-ésima en las i-ésimas introducciones, S = Desviación estándar de la variable j-ésima en las i-ésimas introducciones.

Una vez estandarizadas las variables, para cada introducción se obtuvo el IS multiplicando el valor estandarizado de cada variable por su ponderación, cuyo interés de selección es la respuesta ante *P. infestans*, mediante la ecuación:

$$IS = (Rto \times 0,5) - [(S \times 0,3) + (ABCPE \times 0,05) + (TD \times 0,15)]$$

Donde: IS = índice de selección, Rto = rendimiento en t/ha, S = severidad promedio de la última lectura acorde a la escala de Henfling, ABCPE = área bajo la curva del progreso de la enfermedad acorde a la escala de Henfling, TD = Tasa de desarrollo acorde a la escala de Henfling.

Con base en el IS, se seleccionó el 10% de las introducciones evaluadas.

Análisis estadístico. Los datos de las variables evaluadas se sometieron al Análisis de Varianza (ANDEVA) bajo el modelo del Diseño de Parcelas Divididas. Para las variables que presentaron significancia estadística, se utilizaron las pruebas de comparación de medias de Tukey y diferencia mínima significativa (DMS). Se realizó el Análisis de Correlación de Pearson para medir el grado de asociación de las variables estudiadas y el Análisis de Regresión de la severidad de infección de gota en función de las variables

climáticas. Para realizar estos análisis se utilizó el paquete estadístico SAS versión 9.4 (SAS Institute, 2013).

7.5 Resultados y discusión

Severidad de la enfermedad. El ANDEVA para severidad indica que la interacción control gota x genotipo (CxG) no es significativa, sin embargo, existen diferencias estadísticas significativas para el factor Genotipos, debido a las características genéticas propias de cada introducción (Tabla 7.2).

Según la prueba de comparación de promedios de Tukey (Tabla 7.3), UdenarStCr01, UdenarStCr11, UdenarStCr60, UdenarStCr61, UdenarStCr130, UdenarStCr131 y UdenarStCr135 no mostraron diferencias significativas entre ellos por tener un comportamiento similar ante la enfermedad. Estas introducciones exhiben los menores porcentajes de afección por gota, que oscilan entre 28,75 y 36,25%, por lo tanto, pueden ser tolerantes y difieren estadísticamente con UdenarStCr40 y UdenarStCr17 que tienen los mayores porcentajes de infección con 77,5 y 78,13%, respectivamente.

Tabla 7.2. Cuadrados medios del ANDEVA para la severidad (S), área bajo la curva de progreso de la enfermedad (ABCPE), tasa de desarrollo (TD), número de tubérculos por planta (NTP) y rendimiento (Rto), evaluadas en materiales genéticos de papa criolla.

FV	GL	S	ABCPE	TD	NTP	Rto
Bloque	3	113,98	122392,44	0,002	61,70*	36,45*
Control (C)	1	560,05ns	1489410,82*	0,003ns	834,56*	507,02*
Error a	3	60,05	104899,84	0,002	21,31	37,02
Genotipo(G)	10	2844,50*	1650320,33*	0,008*	212,96*	427,18*
C x G	10	82,55ns	117755,79ns	0,007*	61,46*	23,95*
Error b	60	54,27	135462,36	0,002	15,46	12,02
CV (%)		16,46	37,51	46,18	20,84	20,10
R ²		0,90	0,71	0,58	0,80	0,88
Media		44,75	981,13	0,094	18,86	17,25

ns= no hay diferencias significativas, *= diferencia significativa a un $\alpha=0,05$, CV = coeficiente de variación; R²= coeficiente de determinación.

La diferencia en la reacción de cada genotipo encontrada, puede deberse a la capacidad de la planta para servir como hospedante y su reacción frente al patógeno. Basados en la evaluación epidemiológica de la enfermedad y con base en el rendimiento, se identifican genotipos tolerantes. A pesar de presentar la enfermedad, no tuvieron disminución significativa en su desempeño al compararlos con el testigo. Este fenómeno indica una resistencia de tipo poligénica, la cual permite un desarrollo del patógeno con valores de severidad altos, pero finalmente se obtienen rendimientos sobresalientes (Moncayo *et al.*, 2019).

Estos resultados demuestran que la gota o tizón tardío afecta el rendimiento del tubérculo a través de la destrucción del follaje y la consiguiente reducción del área fotosintética, por lo tanto, es necesario utilizar la estrategia de resistencia de la planta huésped a la enfermedad para controlar la gota (*P. infestans*) sin causar daño al medio ambiente por el uso excesivo de fungicidas (Namugga *et al.*, 2018).

Tabla 7.3. Prueba de comparación de medias de Tukey para severidad en porcentaje (S) y ABCPE, evaluados con control y sin control de gota (*Phytophthora infestans*) en 11 materiales genéticos de papa criolla

Material genético	S	ABCPE
UdenarStCr01	28,75 a	568,31 a
UdenarStCr130	29,13 a	634,05 a
UdenarStCr131	30,00 a	631,97 a
UdenarStCr11	33,13 a	753,49 a
UdenarStCr60	33,75 a	874,24 a
UdenarStCr135	35,00 a	732,16 a
UdenarStCr61	36,25 a	851,92 a
UdenarStCr19	53,75 b	1131,60 a
UdenarStCr45	56,88 b	931,11 a
UdenarStCr40 (T)	77,50 c	1814,86 b
UdenarStCr17	78,13 c	1868,79 b

Medias con misma letra no difieren estadísticamente, T = testigo.

Área bajo la curva del progreso de la enfermedad (ABCPE).

Según el ANDEVA, para el ABCPE no se obtuvo significancia en la interacción CxG. Se observaron diferencias estadísticas significativas para los factores control de gota y genotipos (Tabla 7.2), lo que permitió identificar diferentes respuestas de estos factores a la gota (*P. infestans*). La prueba de comparación de medias de Tukey (Tabla 7.3) indica que UdenarStCr01, UdenarStCr11, UdenarStCr19, UdenarStCr45, UdenarStCr60, UdenarStCr61, UdenarStCr130, UdenarStCr131 y UdenarStCr135 no presentaron diferencias estadísticas significativas, con valores de ABCPE que van desde 568,31 hasta 1131,60. Estos nueve materiales genéticos superan a los genotipos UdenarStCr40 (Testigo susceptible) y a UdenarStCr17, cuyos valores de ABCPE fueron 1814,86 y 1868,79, respectivamente, y además registraron bajos rendimientos (Tabla 7.4). Esto indica que cuanto más alto es el ABCPE, más susceptible es el genotipo al patógeno (Arellano *et al.*, 2013).

Los genotipos con tolerancia a gota (*P. infestans*) fueron UdenarStCr01, UdenarStCr11, UdenarStCr45, UdenarStCr60, UdenarStCr61, UdenarStCr130, UdenarStCr131 y UdenarStCr135, con valores bajos de ABCPE ($< 931,11$) y con porcentaje de severidad final promedio de 35,36%. Los genotipos UdenarStCr19, UdenarStCr40, UdenarStCr17 se consideran susceptibles, con los mayores valores de ABCPE ($> 1131,60$) y con 69,79% de severidad final promedio. Este comportamiento de los genotipos de papa ante el patógeno, corresponde a poblaciones con resistencia no específica de campo o resistencia horizontal. En general, la resistencia horizontal no evita que las plantas sean infectadas, sino que retarda el desarrollo de cada uno de los locí de infección en la planta, por lo tanto, retrasa la propagación de la enfermedad y el desarrollo de epifitias en el campo (Lemus, 2009).

En cuanto al factor control de gota, la prueba de Tukey indica que con fumigación alcanza un promedio de 851,04 de ABCPE, que supera estadísticamente al lote sin fumigación con un promedio de 1111,23 de ABCPE. Esto es confirmado por los resultados de Sedláková *et al.* (2011), quienes establecieron que cultivos sin protección fungicida mostraron valores más altos AUDPC en

comparación con los cultivos tratados, evidenciando un grado diferencial de tolerancia entre los genotipos evaluados.

Tasa de desarrollo (TD). Para la tasa de desarrollo (TD) de la enfermedad, la interacción CxG es significativa (Tabla 7.2); de ahí, que se considera que el comportamiento de los materiales genéticos de papa criolla fue diferente en cuanto a las modalidades de control de *P. infestans* con fumigación y sin fumigación.

La prueba de comparación de medias indica que en general, la mayoría de las medias dentro de cada modalidad de control son similares (Tabla 7.4). Los valores de TD en la modalidad con control fluctúan entre 0,07 unidades/día obtenido por UdenarStCr131 hasta 0,11 unidades/día por UdenarStCr45, siendo este último estadísticamente superior a los demás genotipos. Dentro de la modalidad sin control, las TD van desde 0,06 unidades/día registrado por UdenarStCr131 hasta 0,26 unidades/día obtenido por UdenarStCr17, considerado susceptible por la más alta tasa de infección, la cual superó estadísticamente a los demás materiales genéticos dentro de la modalidad antes mencionada.

La TD con fungicida presentó un valor promedio de 0,09 unidades/día y sin fumigación fue de 0,10 unidades/día. Esto explica claramente que la aplicación de fungicidas protectantes disminuye la tasa de infección, aunque patógenos como *P. infestans* son de rápida diseminación por su característica de producción de zoosporas sobre las superficies foliares que facilitan su dispersión y el incremento de la enfermedad dentro del cultivo (Castaño-Zapata, 2002; Gabriel *et al.*, 2011). Es necesario destacar que el genotipo UdenarStCr19 alcanzó una TD de 0,08 unidades/día bajo control (CC) y 0,07 unidades/día sin control de la enfermedad (SC), es decir, susceptible a la enfermedad (Tabla 7.4). Esta información coincide con Mendoza *et al.* (2006), quienes expresan que es posible obtener tasas de infección bajas en materiales susceptibles cuando las evaluaciones de la enfermedad se hacen en la parte superior de la curva de desarrollo de la enfermedad, porque la cantidad de tejido susceptible disponible para la infección ya es limitada.

Tabla 7.4. Diferencia mínima significativa (DMS) para las media de la tasa de desarrollo (TD), el número de tubérculos por planta (NTP) y el rendimiento (Rto) de 11 genotipos de papa criolla bajo condiciones de control (CC) y sin control (SC) de la gota (*P. infestans*).

Material genético	CC			SC		
	TD	NTP	Rto	TD	NTP	Rto
UdenarStCr131	0,07	27,44	27,69*	0,06	18,19	21,96*
UdenarStCr11	0,07	21,06	27,67*	0,08	16,06	19,6
UdenarStCr45	0,11*	29,81*	26,43	0,09	19,69*	19,08
UdenarStCr135	0,10	18,44	25,10	0,07	10,23	18,46
UdenarStCr60	0,09	32,06*	24,13	0,08	23,94*	21,94
UdenarStCr61	0,09	13,69	22,88	0,09	15,00	20,54
UdenarStCr01	0,08	12,88	20,12	0,08	11,88	16,82
UdenarStCr17	0,09	31,06*	16,51	0,26*	14,94	5,29
UdenarStCr19	0,08	23,75	10,52	0,07	12,75	6,06
UdenarStCr130	0,09	11,63	8,14	0,06	13,38	9,51
UdenarStCr40 (T)	0,10	19,56	6,92	0,14	12,63	4,04
M	0,09	21,94	19,65	0,1	15,34	14,85
DE	0,01	7,46	7,89	0,06	3,97	7,1
M+DE	0,1	29,4	27,54	0,16	19,31	21,95

* = diferencias significativas T = testigo, M = promedio, DE = desviación estándar

Los genotipos UdenarStCr19 y UdenarStCr17, fueron susceptibles a *P. infestans*, dado que las condiciones del hospedante y el crecimiento del patógeno cambiaron. En términos epidemiológicos, cuando la resistencia de una variedad a una enfermedad se expresa uniformemente contra todas las razas del patógeno, se dice que es resistencia horizontal y no implica interacción diferencial entre patógeno y hospedante. Su estabilidad es atribuible a su naturaleza poligénica, que actúa reduciendo la efectividad de uno o varios de los componentes del parasitismo del patógeno a través de la acumulación de genes menores que actúan cuantitativamente en el hospedante. Este concepto de resistencia horizontal fue descrito por Van der Plank en 1963. En papa muchos estudios han

permitido identificar este tipo de resistencia en diferentes fuentes de germoplasma (Escallón *et al.*, 2005; Gabriel *et al.*, 2011).

Número de tubérculo por planta (NTP). La interacción control gota x genotipo para NTP fue significativa (Tabla 7.2), lo cual indica un comportamiento diferencial de los materiales genéticos de papa criolla en cuanto a su reacción a *P. infestans* bajo cada una de las modalidades de control (con y sin fumigación). Según la Tabla 7.4, se observa que en la modalidad CC, los genotipos UdenarStCr45, UdenarStCr17 y UdenarStCr60 obtuvieron los promedios más altos de NTP con valores entre 29,81 y 32,06. Estos fueron superiores estadísticamente respecto a los demás genotipos y al testigo UdenarStCr40 (19,56 NTP). En la modalidad SC, UdenarStCr45 (19,69 NTP) y UdenarStCr60 (23,9 NTP) fueron los de mejor NTP con diferencias significativas respecto al resto de genotipos evaluados. En este caso, el testigo UdenarStCr40 con 12,63 NTP también fue superado por los dos genotipos antes citados.

La modalidad CC control mostró un promedio de 21,94 NTP, mientras que en SC registró 15,06 NTP, lo cual indica que el potencial de producción de tubérculos se ve afectado por la presencia de la enfermedad y denota el efecto de la interacción del genotipo y el medio ambiente sobre las variables de crecimiento y los componentes de rendimiento (Muhinyuza *et al.*, 2014).

Por otro lado, se pudo observar que los genotipos con mayor número de tubérculos no fueron necesariamente los que tuvieron los más altos rendimientos, dado que en la mayoría de los casos el rendimiento de tubérculos es fuertemente influenciado por el peso del tubérculo, como lo corroboran Mehdi *et al.* (2008), quienes expresan que el rendimiento de tubérculos se atribuye principalmente a un mayor número de tubérculos por planta y al tamaño del tubérculo.

Rendimiento de tubérculos (Rto). En el Rto se observó una interacción control gota x genotipo significativa (Tabla 7.2). Al igual que en TD y NTP, se presentó un comportamiento diferencial de los materiales genéticos de papa criolla dentro de las modalidades CC y SC de *P. infestans*. La primera modalidad obtuvo un

promedio de 19,64 t ha⁻¹ y la segunda 14,85t/ha. En la modalidad CC, los materiales genéticos UdenarStCr131 (27,69t/ha) y UdenarStCr11 (27,67t/ha) presentaron diferencias significativas con los demás genotipos evaluados. Estos genotipos superan al testigo en un 75% y al promedio general del experimento en un 29%. En la modalidad SC, UdenarStCr131 (21,96t/ha) fue el de mejor rendimiento con relación a los demás genotipos, superando al testigo en un 81,60% y al promedio general del experimento en un 32,38% (Tabla 7.4).

En el caso CC, los genotipos UdenarStCr131 y UdenarStCr11 mostraron una TD de 0,07 y altos rendimientos, catalogados como genotipos tolerantes. El genotipo UdenarStCr45 con rendimiento de 26,43t/ha fue susceptible, dado que presentó una infección foliar de 57,50%, sin embargo, tiene un buen potencial de rendimiento que puede ser aprovechado en cultivos comerciales con un manejo integrado de la enfermedad. El rendimiento más bajo lo obtuvo UdenarStCr40 (Testigo susceptible) con 6,92t/ha, indicando que la efectividad de los fungicidas para limitar la infección es independiente del grado de resistencia del hospedante (Romero *et al.*, 2003). Sin embargo, el 91% de los genotipos evidenciaron un efecto positivo del tratamiento con fungicida sobre los rendimientos.

Bajo condiciones SC, los mejores genotipos fueron UdenarStCr131 y UdenarStCr60, cuyos rendimientos fueron altos y se clasificaron como tolerantes. El genotipo UdenarStCr131 fue el que presentó un mayor rendimiento en ambas modalidades y fue tolerante a la gota, por lo tanto, podría considerarse como un buen parental en estrategias futuras de mejoramiento genético.

Acorde con la Tabla 7.5, se observó una reducción en el rendimiento del tubérculo para todos los genotipos en las parcelas SC en comparación con CC, a excepción del genotipo UdenarStCr130, el cual bajo tratamiento fungicida no exhibió una respuesta en el rendimiento, dado que es un material genético tolerante a la enfermedad pero de un potencial de rendimiento bajo.

Tabla 7.5. Índice de selección (IS) para 10 materiales genéticos (MG) de papa criolla con base en el rendimiento (Rto) en t/ha, severidad (S) en porcentaje, área bajo la curva del progreso de la enfermedad (ABCPE) y tasa de desarrollo de la enfermedad (TD) con control (CC) y sin control (SC) de gota (*P. infestans*).

MG	Modalidad	Rto	S	ABCPE	TD	IS
UdenarStCr131	CC	27,69	26,25	537,91	0,08	1,09
UdenarStCr11	CC	27,67	30,00	624,75	0,07	1,04
UdenarStCr135	CC	25,10	33,75	620,81	0,10	0,69
UdenarStCr60	CC	24,13	33,75	666,97	0,09	0,68
UdenarStCr61	CC	22,88	32,50	558,03	0,09	0,63
UdenarStCr131	SC	21,96	33,75	726,03	0,06	0,62
UdenarStCr60	SC	21,94	33,75	1081,50	0,08	0,53
UdenarStCr01	CC	20,12	28,75	566,35	0,09	0,52
UdenarStCr11	SC	19,60	36,25	882,22	0,08	0,36
UdenarStCr45	CC	26,43	57,50	968,63	0,11	0,34
UdenarStCr01	SC	16,82	28,75	570,28	0,08	0,32
UdenarStCr135	SC	18,46	36,25	843,50	0,07	0,30
UdenarStCr61	SC	20,54	40,00	1145,81	0,09	0,28
UdenarStCr45	SC	19,08	56,25	893,60	0,09	-0,05
UdenarStCr130	SC	9,51	28,75	718,60	0,06	-0,11
UdenarStCr130	CC	8,14	29,50	549,50	0,09	-0,29
UdenarStCr17	CC	16,51	67,50	1492,97	0,09	-0,45
UdenarStCr19	CC	10,52	50,00	1076,25	0,08	-0,49
UdenarStCr19	SC	6,06	57,50	1186,94	0,07	-0,86
UdenarStCr40	CC	6,92	75,00	1699,25	0,10	-1,25
UdenarStCr40	SC	4,04	80,00	1930,47	0,14	-1,69
UdenarStCr17	SC	5,29	88,75	2244,60	0,26	-2,22

El genotipo UdenarStCr40 reportó el menor rendimiento con 4,04t/ha. Romero *et al.* (2012) encontraron que la variedad de papa Alpha sin aplicación de fungicida presentó un porcentaje de severidad acumulado superior a 80% al inicio de tuberización, y el rendimiento fue sólo de tubérculos menores de 3cm, lo que implica que hubo formación de tubérculos pero la ausencia de follaje fisiológicamente activo posterior al inicio de tuberización

que no permitió su desarrollo. En este sentido, si en ese período se mantiene libre del oomicete se inducirá la formación de tantos tubérculos como la genética de la planta pueda expresar bajo condiciones específicas de manejo. En esta investigación, se pudo demostrar que entre las variables severidad y rendimiento existe un alto grado de asociación para los dos sistemas de producción con aplicación y sin aplicación de fungicida, con una fuerte influencia de la enfermedad sobre el rendimiento de tubérculos de la planta.

Índice de selección (IS). Los genotipos UdenarStCr131 y UdenarStCr11 con aplicación de fungicida (CC) obtuvieron el mayor IS (1,09 y 1,04, en su orden), altos rendimientos (27,69t/ha y 27,67t/ha, respectivamente) y la mejor respuesta a la enfermedad con valores bajos de S, ABCPE y TD. Además, los genotipos que sobresalieron SC fueron UdenarStCr131 y UdenarStCr60 con Rtos de 21,96 y 21,94t/ha. El genotipo UdenarStCr45 con IS de 0,34 CC y 0,05 SC y rendimiento de 26,43t/ha CC y 19,08t/ha SC, no fueron seleccionadas por los valores altos alcanzados en las variables que tienen que ver con la respuesta a *P. infestans*. Bajo condiciones SC, genotipos como UdenarStCr40 y UdenarStCr17 obtuvieron los valores más bajos del IS (-1,69 y -2,22) con rendimientos de 4,04 y 5,29t/ha, consecutivamente y valores altos de S, ABCPE y TD de 0,14 y 0,26, por lo tanto, se clasifican como susceptibles a la enfermedad (Tabla 7.5).

Análisis de Correlación. La correlación entre las variables de los genotipos con control (CC) y sin control (SC) de gota (*P. infestans*) se presenta en la Tabla 7.6. Las variables Rto y S tuvieron una relación inversa significativa con un coeficiente de correlación (r) negativo de magnitud media de -0,41 para CC y medio alto, negativo y significativo de -0,65 para SC. La correlación negativa indica que a medida que se incrementa los valores de severidad de gota (*P. infestans*) existen pérdidas en rendimiento total en cada genotipo de papa, lo cual es muy similar con la investigación de Lagos *et al.* (2019), en cuanto al análisis de correlación negativa significativa entre rendimiento versus severidad ($r = -0,50$), indi-

cando que el potencial productivo de las plantas disminuyó debido al aumento del proceso de infección causado por el patógeno.

Tabla 7.6. Análisis de correlación de Pearson entre rendimiento (Rto), severidad (S), área bajo la curva del progreso de la enfermedad (ABCPE) y tasa de desarrollo de la enfermedad (TD) evaluadas en 11 genotipos de papa con control (CC) y sin control (SC) de gota (*P. infestans*).

Variables y modalidad	Rto	S	ABCPE	TD
Con control (CC)				
Rto	1,00	-0,41 **	-0,47 **	-0,05ns
S		1,00	0,95 **	0,45 **
ABCPE			1,00	0,32 *
TD				1,00
Sin control (SC)				
Rto	1,00	-0,65 **	-0,45 **	-0,43 **
S		1,00	0,77 **	0,72 **
ABCPE			1,00	0,48 **
TD				1,00

ns = no significativo, * = significativo al 5%, ** = significativo al 1%.

La correlación entre Rto y ABCPE muestra una asociación negativa significativa ($r = -0,47$ CC y $r = -0,45$ SC), al igual que en la relación entre Rto y S ($r = -0,41$ CC, $r = -0,65$ SC); es decir, a medida que aumentan los valores de S y ABCPE disminuye el Rto. Estos resultados son corroborados por Hirut *et al.* (2016), quienes establecen que la aparición temprana de la enfermedad resulta en valores de ABCPE más altos y pérdidas de rendimiento. Lo mismo se encontró para la correlación entre Rto y la TD, con un $r = -0,43$ en SC. Por lo tanto, los rendimientos fueron afectados a medida que aumentaron las tasas de infección, tal como se detectó en UdenarStCr17, UdenarStCr19 y UdenarStCr40 (Testigo susceptible).

En el caso de UdenarStCr131 y UdenarStCr11, se obtuvieron bajas tasas de infección y altos rendimientos, que podrían explicarse por la aparición tardía de gota o posiblemente por su carga genética de resistencia que se activan rápidamente por una

infección patógena inicial cuando se cultivan en sistemas de producción (Passos *et al.*, 2017).

El grado de asociación entre las variables ABCPE y S fue alto y significativo con valores de $r = 0,95$ para CC y $r = 0,77$ para SC (Tabla 7.5). Ésta es una relación directa, donde a medida que se incrementa la S se incrementa el ABCPE. La correlación entre S y TD fue positiva ($r = 0,45$ CC, $r = 0,72$ SC), contrario a lo encontrado por Arellano *et al.* (2013), donde la variable severidad final, presentó un valor de alta significancia y negativa con ABCPE y TD, sin presentar asociación estrecha entre el porcentaje final de daño alcanzado y el desarrollo de la enfermedad debido a que esta no se da a la misma velocidad en el testigo susceptible que en las demás poblaciones. En este sentido, la enfermedad avanzó rápidamente en el testigo susceptible; mientras que, en las poblaciones silvestres se presentó más paulatinamente.

Análisis de regresión múltiple. Las condiciones climáticas fueron favorables para el desarrollo de gota (*P. infestans*) en el ensayo. Se presentaron lluvias regulares, con una PP acumulada de 467,4mm, una temperatura promedio de 13,4°C y una HR de 90,9%.

La temperatura mínima para el crecimiento de *P. infestans* es de 4°C, la óptima de 20°C y la máxima de 26°C (Erwin y Ribeiro, 1996). La HR favorable para el desarrollo de la enfermedad debe estar por encima del 80% (Jaramillo *et al.*, 2007). Por lo tanto, la severidad del tizón tardío y la reducción del rendimiento parece estar correlacionado con la cantidad de precipitación recibida durante la estación de crecimiento (Namugga *et al.*, 2018).

Cardona *et al.* (2016), manifiestan que la precipitación desempeña un papel importante en la presencia de la enfermedad. Encontraron que nueve días después de la inoculación, la precipitación pasó de 6 a 114mm y a los 13 días después de inoculación pasó de 90mm, desencadenando la epidemia del tizón tardío en cultivos de papa, situación que es similar a lo observado en este estudio.

El Análisis de Regresión entre severidad como variable dependiente y las variables precipitación, humedad relativa, temperatura media, máxima y mínima, como variables independientes, indica que el modelo que mejor explicó la influencia del clima sobre la enfermedad, está dado por las siguientes ecuaciones:

Con control de gota:

$$S = -324,40 - 104,23T_{med} + 49,69T_{max} + 60,47T_{min} - 0,57PP + 3,53HR \quad (R^2 = 0,54)$$

Sin control de gota:

$$S = -333,57 - 104,47T_{med} + 49,94T_{max} + 62,03T_{min} - 0,54PP + 3,50HR \quad (R^2 = 0,49)$$

La enfermedad presentó un rápido crecimiento exponencial, cumpliendo con los componentes del triángulo de la enfermedad, es decir, un ambiente favorable, un patógeno virulento y la diferencia en respuesta dada por la constitución genética de las introducciones evaluadas.

Bajo la modalidad con control de la gota, los genotipos UdenarStCr40 (testigo susceptible) fue el primero en manifestar los síntomas de la enfermedad a los 63 días después de la siembra y 29 días después de la última aspersión de fungicida protectante. A los 77 días después de la siembra, todos los genotipos estuvieron afectados, después de cada pico de lluvia hubo un incremento de la enfermedad independientemente de las introducciones (Figura 7.1).

Cabe resaltar que las introducciones UdenarStCr131, UdenarStCr01, UdenarStCr130 y UdenarStCr11, mostraron mejor comportamiento frente al desarrollo de la enfermedad, con valores de S finales que oscilaron entre 26,25 y 30%. UdenarStCr40 y UdenarStCr17 alcanzaron una S máxima de 75 y 67,50%, en su orden, debido a la evolución que tuvo el patógeno a través del tiempo, donde se desarrollan proteínas secretoras que inhiben la actividad enzimática de las glucanasas y quitinasas, producidas por las plantas en respuesta al ataque de patógenos, deteniendo la

producción de inductores de resistencia (Abramovitch y Martín, 2004).

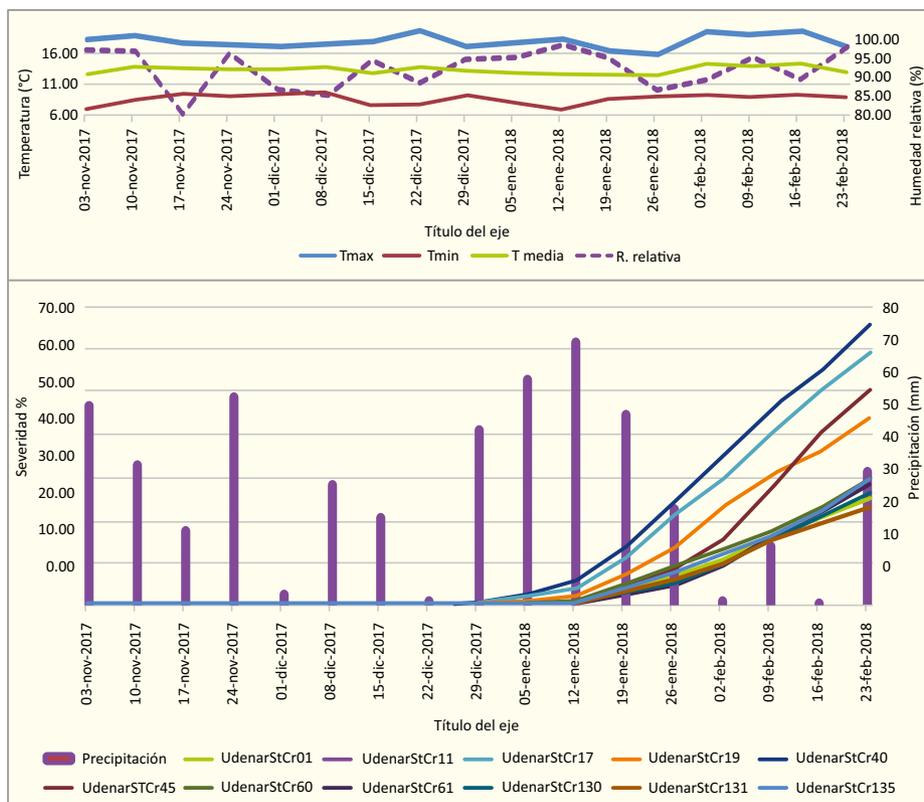


Figura 7.2. Factores climáticos y la severidad (%) bajo escala de Henfling (S) a través del tiempo, en parcelas con control de gota (*P. infestans*).

Bajo la modalidad sin control, todos los genotipos fueron afectados a los 49 días después de la siembra. Después de cada pico de lluvia hubo un incremento de la enfermedad, independientemente de las introducciones (Figura 7.2). Es de resaltar que UdenarStCr01 y UdenarStCr130 con 28,75%, UdenarStCr60 y UdenarStCr131 con 33,75% y UdenarStCr11 y UdenarStCr135 con 36,25% de severidad, fueron las que mejor comportamiento mostraron frente al desarrollo de la enfermedad. UdenarStCr40 y UdenarStCr17 alcanzaron severidades máximas de 88,75 y 80%, respectivamente.

En la curva de severidad que expresa la presencia de la enfermedad (Figura 7.2 y Figura 7.3), muestra que todos los genotipos son susceptibles, relacionándose con el estudio de Escallón *et al.* (2005) en la que mencionan que no existen genes mayores debido a que toda la colección evaluada de papa redonda amarilla de *Solanum phureja* presentaron infección y en consecuencia son fuente de resistencia horizontal.

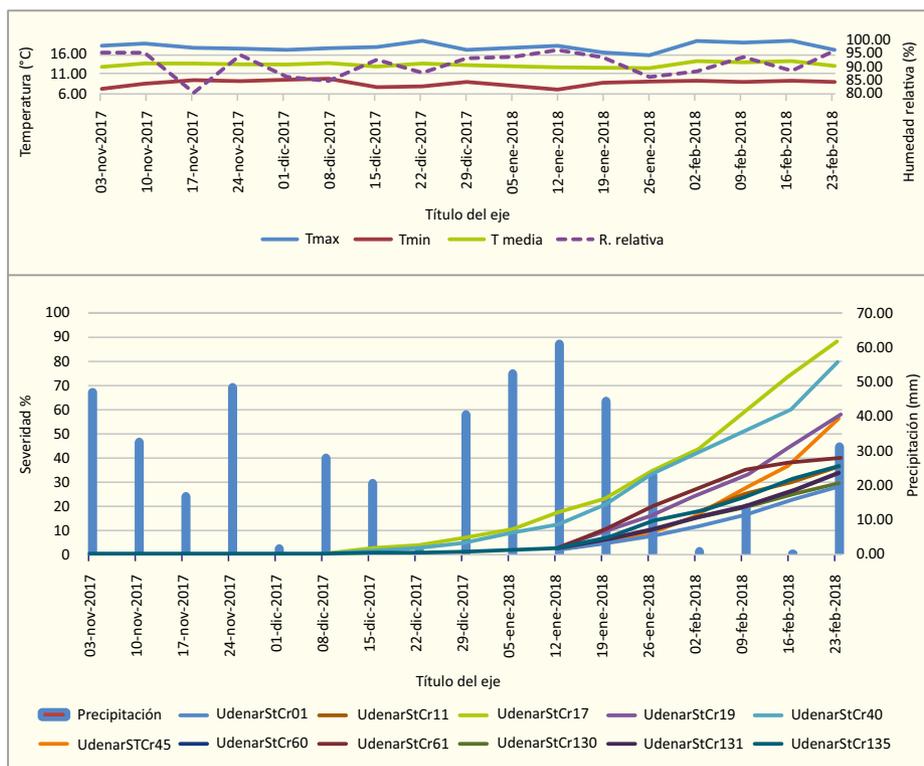


Figura 7.3. Factores climáticos y la severidad (%) bajo escala de Henfling (S) a través del tiempo, en parcelas sin control de gota (*P. infestans*).

Por lo tanto, los resultados observados en este estudio frente a la aparición de la enfermedad fueron consistentes con los datos presentados por Moncayo *et al.* (2019), quienes evaluaron una colección de 30 genotipos de papa, entre los que se encuentran los genotipos conocidos como Criolla, Criolla Colombia, Criolla Galeras y Criolla Latina. Mencionan que la aparición de los

síntomas de la enfermedad en su investigación realizada en el departamento de Nariño, Colombia, se inició luego de lluvias continuas y humedad relativa superior al 70%, donde el avance de la enfermedad es más rápido y en todos los genotipos sincroniza este fenómeno epidemiológico.

En el estudio desarrollado por Cardona *et al.* (2016), concluyen que es necesario continuar con estudios similares a éste en diferentes áreas geográficas del país, de tal manera que se pueda explorar una mayor cantidad de genotipos y poblaciones del patógeno y ampliar la posibilidad de encontrar resistencia a la enfermedad.

7.6 Conclusiones

UdenarStCr131 y UdenarStCr11 obtuvieron los mayores rendimientos con bajas tasas de desarrollo de la gota (*P. infestans*). En la modalidad sin control de la enfermedad, UdenarStCr131 y UdenarStCr60 obtuvieron el rendimiento más elevado con bajas tasas de infección. El material genético con mejor comportamiento a gota (*P. infestans*) fue UdenarStCr131, con reacción tolerante a la enfermedad y alto rendimiento para los factores en estudio con fumigación y sin fumigación, siendo una opción ecológica y sostenible como fuente de tolerancia que permita involucrarse en un programa de mejoramiento genético.

7.7 Agradecimientos

Agradecemos al Sistema General de Regalías de Colombia por financiar este trabajo y a la Universidad de Nariño por su aval institucional en la ejecución del proyecto “Mejoramiento del sistema productivo de papa en el departamento de Nariño”.

7.8 Bibliografía del Capítulo 7

AGRONET. 2018. Red de Información y Comunicación del Sector Agropecuario de Colombia. Estadísticas. Área sembrada y cosechada del cultivo de papa. En: <http://www.agronet.gov.co/estadistica/Paginas/default.aspx; consulta: 2/10/2018>.

- AGRONET. 2021. Red de Información y Comunicación del Sector Agropecuario de Colombia. Estadísticas. Área sembrada y cosechada del cultivo de papa. <https://www.agronet.gov.co/estadistica/Paginas/home.aspx?cod=1#; consulta: 28/2/2021>.
- Abramovitch, R. & G. Martín. 2004. Strategies used by bacterial pathogens to suppress plant defenses. *Current opinion in plant biology*. v.7, n.4, p356-364. doi: <https://10.1016/j.pbi.2004.05.002>
- Arellano, L., Rodríguez, E., Ron, J., Martínez, J., Lozoya, H., Sánchez, J., Lépiz, R. 2013. Evaluación de resistencia a *Phytophthora infestans* en poblaciones silvestres de *Solanum lycopersicum* var. cerasiforme. *Revista mexicana de Ciencias Agrícolas*. v.4, n.5, p753-766. http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2007-09342013000500008; consulta: 6/10/2021.
- Barquero, M., Gómez, L., Brenes, A. 2005. Resistencia al tizón tardío (*Phytophthora infestans*) en materiales promisorios de papa en Costa Rica. *Agronomía Costarricense: Revista de Ciencias Agrícolas*. v.29, n.3, p31-45. https://www.mag.go.cr/rev_agr/v29n03_031.pdf; consulta: 2/10/2021.
- Burbano, D., Lagos, L., Álvarez, S., Chañag, H. 2021. Sensibilidad de *Phytophthora infestans* a extractos acuosos de *Lippia origanoides* y *Origanum vulgare*. *Agronomía Mesoamericana*. v.32, n.1, p149-162. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=7718278; consulta: 12/09/2021>.
- Catalan, W., Cosio, T., Chilo, E. 2020. MORADA-CICA: Variedad de papa resistente a *Phytophthora infestans* (Mont.) de Bary. *Revista Latinoamericana de la Papa*. v.24, n.1, p58-68. Doi: <https://doi.org/10.37066/ralap.v24i1.390>
- Cardona, L., Castaño, J., Ceballos, N. 2016. Epidemiology of late blight (*Phytophthora infestans* (Mont.) de Bary) in fifteen introductions of wild tomato. *Revista UDCA Actualidad y Divulgación Científica*. v.19, n.1, p45-54. http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_abstract&pid=S0123-42262016000100006; consulta: 7/10/2021.
- Castaño Zapata, J. 2002. Principios básicos de fitoepidemiología. Universidad de Caldas, Manizales, Colombia. p398.
- Castillo, O., Oses, R., Fernández, L. 2020. Determinación de parámetros meteorológicos óptimos para la incidencia del tizón tardío (*Phytophthora infestans* Mont. de Bary) en la papa. *Centro Agrícola*. v.47, n.1, p45-49. http://cagricola.uclv.edu.cu/descargas/pdf/V47-Numero_1/cag06120.pdf; consulta: 7/10/2021.
- Escallón, R, Ramírez, M., Núñez, C.E. 2005. Evaluación del potencial de rendimiento y de la resistencia a *Phytophthora infestans* (Mont. de Bary) en la colección de papas redondas amarillas de la especie *Solanum phureja* (Juz. et Buk.). *Agron. Colomb*. v.23, n.1, p35-41. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=180316951005; consulta: 12/09/2021>.

- Erwin, D. & Ribeiro, O. 1996. *Phytophthora* diseases worldwide. The American Phytopathological Society. Minnesota, USA. v.47, n.2, p224-226. Doi: <https://doi.org/10.1046/j.1365-3059.1998.0179a.x>
- 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. Centro Internacional de la Papa (CIP). Lima, Perú. Doi: <https://10.4160/9789290604501>
- FEDEPAPA. Federación Colombiana de Productores de Papa. 2018. Revista Papa. Economía. p44-45. <https://fedepapa.com/wp-content/uploads/2017/01/REVISTA-47-COMPLETA.pdf>; consulta: 11/09/2021.
- Fry, W. 1978. Quantification of general resistance of potato cultivars and fungicide effects for integrated control of potato late blight. *Phytopathology*. v.68, n.11, p1650-1655.
- Gabriel, J., Fernández, S., Plata, G., Siles, M. 2011. Niveles de resistencia al tizón tardío en clones de papa del Centro Internacional de la Papa (CIP) evaluados en Bolivia. *Revista Latinoamericana de la papa*. v.16, n.1, p126-141. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=5512150>; consulta: 12/10/2021.
- Henfling, J.W. 1987. El tizón tardío de la papa: *Phytophthora infestans*. 2th ed. Boletín de Información Técnica No. 4. CIP. Lima, Perú.
- Hirut, B., Shimelis, H., Melis, R., Fentahun, M., De Jong, W. 2016. Yield, yield-related traits and response of potato clones to late blight disease in North-Western Highlands of Ethiopia. *Journal of Phytopathology*. v.165, n.1, p1-14. doi: <http://10.1111/jph.12514>.
- IDEAM. Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales. 2018. Reporte técnico Estación Meteorológica Botana, Pasto. Nariño. <http://www.ideam.gov.co/>; consulta: 14/12/2018.
- Jaramillo, J., Rodríguez, V., Guzmán, M., Zapata, M., Rengifo, T. 2007. Manual Técnico de Buenas Prácticas Agrícolas - BPA en la producción de tomate bajo condiciones protegidas. CTP Print Ltda. Medellín, Colombia. <http://www.fao.org/3/a1374s/a1374s00.pdf>; consulta: 21/01/2019.
- Lagos, J., Lagos, T., Duarte-Alvarado, D., Lagos, L. 2021. Selection of potato genotypes *Solanum tuberosum* group Andígena by their tolerance to *Phytophthora infestans* (Mont.) of Bary. *Revista Facultad Nacional de Agronomía Medellín*. v.74, n.1, p9361-9372. Doi: <https://doi.org/10.15446/rfnam.v74n1.87566>
- Lagos-Santander, L.K., Vallejo Cabrera, F.A., Lagos-Burbano, T.C., Duarte Alvarado, D.E. 2020. Evaluación agronómica de familias de medios hermanos de lulo de Castilla, *Solanum quitoense* Lam. *Rev. U.D.C.A Act. & Div. Cient.* v.23, n.1, e1334. Doi: <http://doi.org/10.31910/rudca.v23.n1.2020.1334>

- Lagos, L. 2012. Evaluación del potencial genético de algunos parentales de tomate de árbol *Cyphomandra betacea* Cav. Sendt. A partir de un dialélico parcial circulante. Tesis Maestría. Universidad Nacional de Colombia, sede Palmira. Palmira. p75.
- Mehdi, M. Saleem, T., Rai, H., Mir, M., Rai, G. 2008. Effect of nitrogen and FYM interaction on yield and yield traits of potato genotypes under Ladakh condition. *Potato Journal*. v.35, p3-4. https://www.researchgate.net/publication/301517002_EFFECT_OF_NITROGEN_AND_FYM_INTERACTION_ON_YIELD_AND_YIELD_TRAITS_OF_POTATO_GENOTYPES_UNDER_LADAKH_CONDITION; consulta: 7/10/2021.
- MINAGRICULTURA. 2018. Estrategia de Ordenamiento de la producción <https://sioc.minagricultura.gov.co>; consulta: 12/03/2020.
- Moncayo, J., Delgado, R., Marcillo, C., Salazar, C., Betancourth, C. 2019. Genotype reaction of *Solanum tuberosum*, andígena and phureja groups to late blight (*Phytophthora infestans* Mont. de Bary). *Revista de Ciencias Agrícolas*. v.36, p138-157. Doi: <https://doi.org/10.22267/rcia.1936E.113>
- Muhinyuza, J., Shimelis, H., Melis, R., Sibiya, J., Gahakwa, D., Nzaramba, M. 2014. Yield response and late blight reaction of potato genotypes in Rwanda. *American Journal of Potato Research*. v.92, n.1, p10-22. Doi: <https://10.1007/s12230-014-9406-8>
- Namugga, P., Sibiya, J., Melis, R., Barekye, A. 2018. Yield Response of Potato (*Solanum tuberosum* L.) Genotypes to Late Blight Caused by *Phytophthora infestans* in Uganda. *American Journal of Potato Research*. v.95, n.4, p423-434. doi: <https://10.1007/s12230-018-9642-4>
- Ñústez, C. 2010. Variedades colombianas de papa. En: <http://www.papaunc.com/catalogo.shtml>; consulta: 13/05/2020.
- Pérez, W. & Forbes, G. 2008. El tizón tardío de la papa. Manual Técnico. Lima, Perú, Centro Internacional de la Papa (CIP). 41p. <http://cipotato.org/wp-content/uploads/2014/08/004271.pdf>; consulta: 15/10/2021.
- Passos, S., Kawakami, J., Nazareno, N., Santos, K.C., Tamanini, J.C. 2017. Produtividade de cultivares de batata orgânica em região subtropical do Brasil. *Horticultura Brasileira*. v.35, p628-633. doi: <http://dx.doi.org/10.1590/S0102-053620170424>
- Rivadeneira, J., Jaramillo, P., Cuesta, X. 2019. Evaluación de clones de papa (*Solanum sp.*) con resistencia a tizón tardío (*Phytophthora Infestans*) en Campo. Libro de Memorias: Cuarto congreso Peruano de Mejoramiento Genético y Biotecnología Agrícola. La Molina, Lima, Perú. p221. <https://repositorio.iniap.gob.ec/handle/41000/5361>; consulta: 15/10/2021.
- Romero, G., Lozoya, H., Hernández, A. 2003. Adaptación por resistencia al tizón tardío (*Phytophthora infestans* Mont. de Bary) de genotipos de papa

- (*Solanum tuberosum* L.) en Toluca, México. Revista Chapingo Serie Horticultura. v.9, n.2, p193-208. doi: 10.5154/r.rchsh.2001.07.043
- Romero, G., Lozoya, H., Mora, G., Fernández, S., Grünwald, N. 2012. Rendimiento de papa en función de epidemia por tizón tardío (*Phytophthora infestans* Mont. de Bary). Revista Fitotecnia mexicana. v.35, n.1, p69-78. http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0187-73802012000100010; consulta: 11/06/2021.
- Rojas, J., Sedano, J., Ballvora, A., León, J., Vásquez, T. 2019. Novel organ-specific genetic factors for quantitative resistance to late blight in potato. Public Library of Sciences. Plos One. v.14, n.7, e0213818. doi: <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0213818>
- Santa, J., Berdugo, J., Cely, L., Soto, M., Mosquera, T., Galeano, C. 2018. QTL analysis reveals quantitative resistant loci for *Phytophthora infestans* and *Tecia solanivora* in tetraploid potato (*Solanum tuberosum* L.). Plos One. v.13, n.7, e0199716. Doi: <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0199716>.
- Sánchez, M. & Meza, R. 2015. Evaluación del rendimiento del cultivo de papa bajo la aplicación del riego deficitario (PRD) utilizando cintas de riego. In Anales Científicos. v.76, n.1, p21-28. Doi: <http://dx.doi.org/10.21704/ac.v76i1.760>
- Sedláková, V., Dejmalová, J., Hausvater, E., Sedlák, P., Doležal, P., Mazáková, J. (2011). Effect of *Phytophthora infestans* on potato yield in dependence on variety characteristics and fungicide control. Plant Soil Environ. v.57, n.10, p486-91. doi: <https://doi.org/10.17221/289/2011-PSE>
- Silva, B., Cotes, J., Marín, M. 2010. Estructura poblacional de *Phytophthora infestans* en cultivos de papa de Antioquia, Boyacá, Cundinamarca y Norte de Santander (Colombia). Agronomía Colombiana. v.28, n.3, p383-390. <https://revistas.unal.edu.co/index.php/agrocol/article/view/15668>; consulta: 12/10/2021.
- Silva, B., Jaramillo, S., Marín, M. 2010. Caracterización genética de aislamientos de *Phytophthora infestans* en las zonas productoras de papa de los departamentos de Antioquia, Boyacá, Cundinamarca y Norte de Santander (Colombia). Actualidades Biológicas. v.31, n.90, p5-20. http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0304-35842009000100001; consulta: 21/05/2021.
- SAS Institute Inc. 2013. SAS® 9.4 Statements: Reference. Cary, NC: SAS Institute Inc. 476 p. Doi: 10.1.1.353.6870&rep=rep1&type=pdf
- Van der Plank, J.E. 1963. Plant diseases: Epidemics and control. Academic Press, New York, USA.



Anexos

Anexo 4.1. Datos de pasaporte de 115 genotipos de papa criolla (*Solanum tuberosum* grupos Phureja y Andígena de la colección de trabajo de la Universidad de Nariño.

ID. UDENAR	Nombre	Grupo	Origen	Municipio	Vereda	Al	Donante
UDENARSTCR01	Andina	P	Colombia (Nariño)	Cumbal	Panam	3089	Maximil Quilisma
UDENARSTCR02	Borrega	P	Colombia (Nariño)	Cumbal	Panam	3090	Maximil Quilisma
UDENARSTCR03	C.I.O 17 (Colombia)	P	Colombia (Nariño)	Pasto	Obonuco	2710	C.I. Corpoica
UDENARSTCR04	C.I.O 19 (Criolla Paisa)	P	Colombia (Nariño)	Pasto	Obonuco	2712	C.I. Corpoica Obonuco
UDENARSTCR05	C.I.O 20.1 (20.1 UNAL ph 13) (Caucha Manzana)	P	Colombia (Nariño)	Pasto	Obonuco	2713	C.I. Corpoica Obonuco
UDENARSTCR06	C.I.O 21.1 (Mambera/ C.I.O21.2)	P	Colombia (Nariño)	Pasto	Obonuco	2714	C.I. Corpoica Obonuco
UDENARSTCR07	C.I.O 22.13 (Uvilla Ploma)	P	Colombia (Nariño)	Pasto	Obonuco	2715	C.I. Corpoica Obonuco
UDENARSTCR08	C.I.O 23.4 (Malvasaña)	P	Colombia (Nariño)	Pasto	Obonuco	2716	C.I. Corpoica Obonuco
UDENARSTCR09	C.I.O 24.5 (Calabera) (Chaucha Negra)	P	Colombia (Nariño)	Pasto	Obonuco	2717	C.I. Corpoica Obonuco

ID. UDENAR	Nombre	Grupo	Origen	Municipio	Vereda	Al	Donante
UDENARSTCR10	C.I.O 25.6 (Cachuda)	P	Colombia (Nariño)	Pasto	Obonuco	2718	C.I. Corpoica Obonuco
UDENARSTCR11	C.I.O 26.7 (Leona)	P	Colombia (Nariño)	Pasto	Obonuco	2719	C.I. Corpoica Obonuco
UDENARSTCR12	C.I.O 27.8 (Chaucha Piña)	P	Colombia (Nariño)	Pasto	Obonuco	2720	C.I. Corpoica Obonuco
UDENARSTCR13	C.I.O 28.9 (Ratona Roja)	P	Colombia (Nariño)	Pasto	Obonuco	2721	C.I. Corpoica Obonuco
UDENARSTCR14	C.I.O 29.10 (Aguacata)	P	Colombia (Nariño)	Pasto	Obonuco	2722	C.I. Corpoica Obonuco
UDENARSTCR16	C.I.O 31.12 (Ratona morada)	P	Colombia (Nariño)	Pasto	Obonuco	2724	C.I. Corpoica Obonuco
UDENARSTCR17	C.I.O 34.15 (Tormilla Roja)	P	Colombia (Nariño)	Pasto	Obonuco	2727	C.I. Corpoica Obonuco
UDENARSTCR18	C.I.O 35.16	P	Colombia (Nariño)	Pasto	Obonuco	2728	C.I. Corpoica Obonuco
UDENARSTCR19	C.I.O 37.18 (Manzana)	P	Colombia (Nariño)	Pasto	Obonuco	2730	C.I. Corpoica Obonuco
UDENARSTCR20	C.I.O 39.20 (Curipanga)	P	Colombia (Nariño)	Pasto	Obonuco	2732	C.I. Corpoica Obonuco
UDENARSTCR21	C.I.O 40.21 (Pacha negra)	P	Colombia (Nariño)	Pasto	Obonuco	2733	C.I. Corpoica Obonuco

ID. UDENAR	Nombre	Grupo	Origen	Municipio	Vereda	Al	Donante
UDENARSTCR22	Cachona	P	Colombia (Nariño)	Cumbal	Panam	3090	Maximil Quilisma
UDENARSTCR23	Chaucha pura	P	Colombia (Nariño)	Cumbal	Panam	3090	Maximil Quilisma
UDENARSTCR24	Criolla Latina B M5 Flor Morada	P	Colombia (Nariño)	Cumbal	Laguna	3109	Juan Carlos Cumbal
UDENARSTCR28	Criolla nn	P	Colombia (Nariño)	Cumbal	Panam	3090	Maximil Quilisma
UDENARSTCR29	Kurikinga (Kuritinga)	P	Colombia (Nariño)	Cumbal	Panam	3090	Maximil Quilisma
UDENARSTCR30	Galeras	P	Colombia (Nariño)	Cumbal	Panam	3090	Maximil Quilisma
UDENARSTCR31	Guaneña	P	Colombia (Nariño)	Cumbal	Panam	3090	Maximil Quilisma
UDENARSTCR32	Huevo de Indio	P	Colombia (Nariño)	Cumbal	Panam	3090	Maximil Quilisma
UDENARSTCR33	Jardinera	P	Colombia (Nariño)	Cumbal	Panam	3090	Maximil Quilisma
UDENARSTCR34	Latina (Criolla Latina)	P	Colombia (Nariño)	Cumbal	Panam	3090	Maximil Quilisma
UDENARSTCR35	Ñoña	P	Colombia (Nariño)	Cumbal	Panam	3090	Maximil Quilisma

ID. UDENAR	Nombre	Grupo	Origen	Municipio	Vereda	Al	Donante
UDENARSTCR36	Ratona amarilla	P	Colombia (Nariño)	Cumbal	Panam	3090	Maximil Quilisma
UDENARSTCR37	C.I.O 18 (Ratona morada)	P	Colombia (Nariño)	Pasto	Obonuco	2711	C.I. Corpoica Obonuco
UDENARSTCR39	Tornilla negra	P	Colombia (Nariño)	Cumbal	Panam	3090	Maximil Quilisma
UDENARSTCR40	Yema de huevo	P	Colombia (Nariño)	Cumbal	Panam	3090	Maximil Quilisma
UDENARSTCR42	América	P	Colombia (Nariño)	Pasto	Jurado	2806	Silvio Gelpud Rosero
UDENARSTCR44	Dorada	P	Colombia (Nariño)	Guachuca	Santa Isabel	3103	Héctor Guerrero
UDENARSTCR45	Kurikinga M1	P	Colombia (Nariño)	Córdoba	El Salado	2897	Sigifredo Cuarán
UDENARSTCR46	Kurikinga M5	P	Colombia (Nariño)	Cumbal	Laguna	3109	Juan Carlos Cumbal
UDENARSTCR47	Montaña chaucha	P	Colombia (Nariño)	Cumbal	Laguna	3109	Juan Carlos Cumbal
UDENARSTCR48	Mambra M1	P	Colombia (Nariño)	Córdoba	El Salado	2890	Manuel Valenzuela
UDENARSTCR49	Montaña M1	P	Colombia (Nariño)	Córdoba	El Salado	2897	Sigifredo Cuarán

ID. UDENAR	Nombre	Grupo	Origen	Municipio	Vereda	Al	Donante
UDENARSTCR51	Nacional 1	P	Colombia (Nariño)	Guachuca	Santa Isabel	3103	Héctor Guerrero
UDENARSTCR52	Nacional 2	P	Colombia (Nariño)	Guachuca	Santa Isabel	3103	Héctor Guerrero
UDENARSTCR53	Ratona Blanca Criolla La Cocha M1 flor blanca	P	Colombia (Nariño)	Pasto	El Encano	2840	Jesús Reyes Joja
UDENARSTCR54	Ratona blanca criolla La Cocha M1 flor Morada	P	Colombia (Nariño)	Pasto	El Encano	2840	Jesús Reyes Joja
UDENARSTCR55	Ratona La Cocha Reserva Cristales	P	Colombia (Nariño)	Pasto	El Encano	2894	Roberto Joja
UDENARSTCR56	Ratona Morada La Cocha M1	P	Colombia (Nariño)	Pasto	El Encano	2840	Jesús Reyes Joja
UDENARSTCR57	Ratona Morada M4	P	Colombia (Nariño)	Córdoba	Tandaup	2905	Guillermo Caipe
UDENARSTCR58	Ratona Roja	P	Colombia (Nariño)	Pasto	Jurado	2806	Silvio Gelpud Rosero
UDENARSTCR59	Roscona o Cachona	P	Colombia (Nariño)	Córdoba	Tandaup	2905	Guillermo Caipe
UDENARSTCR60	Tornilla amarilla	P	Colombia (Nariño)	Pasto	Jurado	2806	Silvio Gelpud Rosero

ID. UDENAR	Nombre	Grupo	Origen	Municipio	Vereda	Al	Donante
UDENARSTCR61	Tornilla Blanca M1	P	Colombia (Nariño)	Córdoba	El Salado	2897	Sigfredo Cuarán
UDENARSTCR62	Tornilla La Cocha Cristales Roberto Jojoa	P	Colombia (Nariño)	Pasto	El Encano	2894	Roberto Jojoa
UDENARSTCR63	Uva negra <i>phureja</i> M4 (nn uva negra)	P	Colombia (Nariño)	Córdoba	Tandaup	2905	Guillermo Caipe
UDENARSTCR64	Silvania 1	P	Colombia (Nariño)	Pasto	El Encano	2894	Roberto Jojoa
UDENARSTCR65	22.3	P	Colombia (Nariño)	Pasto	Obonuco	2710	C.I. Corpoica Obonuco
UDENARSTCR66	Nevada pequeña	P	Colombia (Nariño)	Cumbal	Laguna	3109	Juan Carlos Cumbal
UDENARSTCR67	Ratona Roja M5	P	Colombia (Nariño)	Cumbal	Laguna	3109	Juan Carlos Cumbal
UDENARSTCR111	Pala Roja- 15062338	A	Bolivia (La Paz)	SD	SD	3600	C.I. Corpoica Tibaitatá
UDENARSTCR112	Salimana- 15062339	A	Bolivia (SD)	SD	SD	3800	C.I. Corpoica Tibaitatá
UDENARSTCR113	I-52-2 - 15062340	A	Bolivia (Potosí)	SD	EE de Belén	3500	C.I. Corpoica Tibaitatá

ID. UDENAR	Nombre	Grupo	Origen	Municipio	Vereda	Al	Donante
UDENARSTCR114	Jalka Imilla - 15060420	A	Bolivia (Potosí)	Saavedra	Chinoli	3500	C.I. Corpoica Tibaitatá
UDENARSTCR115	Alcatarma - 15062053	A	Perú (Puno)	SD	La Huerta	4000	C.I. Corpoica Tibaitatá
UDENARSTCR116	Híbrido de Ochoa - 15060536	A	Perú (La Libertad)	Santiago de Chuco	Cachicadan	2700	C.I. Corpoica Tibaitatá
UDENARSTCR117	Peruana - 15060543	A	Perú (Cajamarca)	SD	ML	3000	C.I. Corpoica Tibaitatá
UDENARSTCR120	Manzanilla - 15061204	A	Bolivia (Torija)	SD	ML	1985	C.I. Corpoica Tibaitatá
UDENARSTCR122	Cuchillo Paqui- 15061226	A	Perú (Huancavelica)	SD	Taya Caja Pampas- Marcopata	3350	C.I. Corpoica Tibaitatá
UDENARSTCR123	Duraznillo - 15061228	A	Perú (Ayacucho)	SD	Quinua Km 13	3320	C.I. Corpoica Tibaitatá
UDENARSTCR124	Mahuay - 15061235	A	Perú (Huancavelica)	Paucará	SD	3940	C.I. Corpoica Tibaitatá
UDENARSTCR125	Alakay Hualas - 15061236	A	Perú (Huancavelica)	Paucará	SD	3940	C.I. Corpoica Tibaitatá
UDENARSTCR126	Papa Blanca - 15061237	A	Perú (Huancavelica)	SD	SD	4100	C.I. Corpoica Tibaitatá

ID. UDENAR	Nombre	Grupo	Origen	Municipio	Vereda	Al	Donante
UDENARSTCR127	Criolla Blanca- 15061239	A	Perú (Pasco)	Daniel Alcides Carrión	Yana Huaca	3400	C.I. Corpoica Tibaitatá
UDENARSTCR129	Argentina Parda- 15061273	A	Colombia (Boyacá)	Sogamoso	Primera Chorrera	3300	C.I. Corpoica Tibaitatá
UDENARSTCR130	Rubi- 15061280	A	Colombia (Quindío)	Calarcá (Procede de Nariño)	ML	1619	C.I. Corpoica Tibaitatá
UDENARSTCR131	Chaucha- 15061281	A	Colombia (Quindío)	Calarcá (Procede de Nariño)	SD	1619	C.I. Corpoica Tibaitatá
UDENARSTCR132	Pana Rosada- 15061291	A	Colombia (Boyacá)	Sogamoso	Las Cintas	3380	C.I. Corpoica Tibaitatá
UDENARSTCR133	Criolla Fina- 15061942	A	Colombia (Boyacá)	Aquitania	Valle de Toquilla	3085	C.I. Corpoica Tibaitatá
UDENARSTCR135	Visinia- 15061323	A	Colombia (Boyacá)	Boavita	Mercado Local de La Uvita	2220	C.I. Corpoica Tibaitatá
UDENARSTCR136	Lizaraza Pequeña- 15061338	A	Colombia (Boyacá)	El Cocuy	El Carrizal	3150	C.I. Corpoica Tibaitatá
UDENARSTCR137	Extranjera Colorada- 15061361	A	Colombia (Boyacá)	Chiscas	El Rinconcito	3000	C.I. Corpoica Tibaitatá

ID. UDENAR	Nombre	Grupo	Origen	Municipio	Vereda	Al	Donante
UDENARSTCR138	Papa Cabra - 15062347	A	Colombia (Norte de Santander)	Silos	Tútepa (Km 2 Laguna de Chitaga)	2450	C.I. Corpoica Tibaitatá
UDENARSTCR139	Eucalipta - 15061377	A	Colombia (Santander)	Guaca	Camara	2420	C.I. Corpoica Tibaitatá
UDENARSTCR141	Bastidas - 15062114	A	Colombia (Nariño)	Ipiiales	Teques	3200	C.I. Corpoica Tibaitatá
UDENARSTCR142	Pestaña Roja - 15061952	A	Colombia (Nariño)	Ipiiales	Teques	3200	C.I. Corpoica Tibaitatá
UDENARSTCR143	Pizarra - 15061471	A	Colombia (Nariño)	Pasto	Mercado Local	3250	C.I. Corpoica Tibaitatá
UDENARSTCR144	Brasila - 15061501	A	Colombia (Nariño)	Cumbal	Tasma a 3 Km de Cumbal La Laguna	3200	C.I. Corpoica Tibaitatá
UDENARSTCR145	Guata Guascosa- 15061517	A	Colombia (Nariño)	Pasto	GE Obonuco	2800	C.I. Corpoica Tibaitatá
UDENARSTCR146	Guata Blanca - 15061524	A	Colombia (Nariño)	Pasto	GE Obonuco	2800	C.I. Corpoica Tibaitatá
UDENARSTCR147	Guata Parda - 15061550	A	Colombia (Nariño)	Popayán	Malvaza	1760	C.I. Corpoica Tibaitatá
UDENARSTCR148	Malvaceña- 15061554	A	Colombia (Cauca)	Popayán	Mercado Local	1760	C.I. Corpoica Tibaitatá

ID. UDENAR	Nombre	Grupo	Origen	Municipio	Vereda	Al	Donante
UDENARSTCR150	Guata Sabanera- 15061576	A	Colombia (Cauca)	Totoró	Carretera de San Pedro	3220	C.I. Corpoica Tibaitatá
UDENARSTCR151	Manzana- 15061601	A	Colombia (Cauca)	La Vega	Guachicono	2200	C.I. Corpoica Obonuco
UDENARSTCR152	Guscosa- 15061609	A	Colombia (Cauca)	San Sebastián	Corregimiento Valencia	2900	C.I. Corpoica Tibaitatá
UDENARSTCR153	Piel Roja- 15061613	A	Colombia (Cauca)	San Sebastián	Corregimiento Valencia	2900	C.I. Corpoica Tibaitatá
UDENARSTCR154	Rosaleña- 15061619	A	Colombia (Cauca)	Silvia	Paramo de Las Delicias	3000	C.I. Corpoica Tibaitatá
UDENARSTCR155	Negra Andariega- 15061630	A	Colombia (Cundinamarca)	Tausa	Km 24 carretera de Zipaquira a San Cayetano	3380	C.I. Corpoica Tibaitatá
UDENARSTCR157	Holandesa- 15061662	A	Colombia (Boyacá)	Vetaquemada	Puente de Piedra/Carretera Vieja a Tunja	2880	C.I. Corpoica Tibaitatá
UDENARSTCR158	Argentina Lisa- 15061678	A	Colombia (Cundinamarca)	Usme	Las Mercedes/ Carretera al Páramo de Sumapaz	3350	C.I. Corpoica Tibaitatá

ID. UDENAR	Nombre	Grupo	Origen	Municipio	Vereda	Al	Donante
UDENARSTCR159	Tuquerreña Carriza- 15061682	A	Colombia (Cundinamarca)	Usme	Las Mercedes/ Carretera al Páramo de Sumapaz	3350	C.I. Corpoica Tibaitatá
UDENARSTCR160	Plancha- 15061689	A	Colombia (Cundinamarca)	Cáqueza	Procede de Une	1840	C.I. Corpoica Tibaitatá
UDENARSTCR161	Lizaraza Colorada- 15061690	A	Colombia (Cundinamarca)	Fosca	La Placita	1840	C.I. Corpoica Tibaitatá
UDENARSTCR162	Criolla Silviana- 15061705	A	Colombia (Caldas)	Manizales	ML	2180	C.I. Corpoica Tibaitatá
UDENARSTCR163	Quincha- 15061714	A	Colombia (Cundinamarca)	Anolaima	SD	1800	C.I. Corpoica Tibaitatá
UDENARSTCR164	Ecuatoriana- 15061734	A	Colombia (Nariño)	El Encano	San José	2820	C.I. Corpoica Tibaitatá
UDENARSTCR165	Rosa Leña- 15062150	A	Colombia (Nariño)	Túquerres	Corregimiento Pinzón	3000	C.I. Corpoica Tibaitatá
UDENARSTCR166	Chaucha Maleña- 15061755	A	Colombia (Nariño)	Cumbal	Laguna de San Diego	3430	C.I. Corpoica Tibaitatá
UDENARSTCR167	Manzana Chilena- 15061773	A	Colombia (Nariño)	Ipiales	Quitiaques	3200	C.I. Corpoica Tibaitatá
UDENARSTCR168	Patepava- 15061967	A	Colombia (Valle)	Palmira	Km 44 por la carretera a Ataco	2900	C.I. Corpoica Tibaitatá

ID. UDENAR	Nombre	Grupo	Origen	Municipio	Vereda	Al	Donante
UDENARSTCR169	Huervera- 15061789	A	Colombia (Cauca)	SD	Corregimiento de Valencia	2930	C.I. Corpoica Tibaitatá
UDENARSTCR170	Holandesa o Papa Negra o Caiceda Negra- 15061795	A	Colombia (Antioquia)	La Unión	San Juan	2475	C.I. Corpoica Tibaitatá
UDENARSTCR172	Andina - 15061799	A	Colombia (Antioquia)	La Ceja	ML	2110	C.I. Corpoica Tibaitatá
UDENARSTCR173	Chuina -15061808	A	Ecuador (SD)	Chuina	San Luis	2200	C.I. Corpoica Tibaitatá
UDENARSTCR174	Pipina o Zandia 15061813	A	Colombia (Antioquia)	San Pedro	El Espinal	2570	C.I. Corpoica Tibaitatá
UDENARSTCR175	Jabonilla - 15060045	A	Colombia (Nariño)	Pasto	GE Obonuco	2700	C.I. Corpoica Tibaitatá

A = Andígena, P = Phureja, SD = sin datos, GE = granja experimental, ML = mercado local, AL = altitud en msnm. Fuente: Proyecto de Investigación 2014000100022. GPFA – FC/TeI REGALIAS. 2015 – 2019.

Anexo 4.2. Descriptores cualitativos y cuantitativos usados para la caracterización de papa (*Solanum tuberosum*).

Órgano	Cuantitativas
	Variable
Planta	<ul style="list-style-type: none"> – Madurez fisiológica (MF). Número de días desde la emergencia hasta senectud. – Cubrimiento del follaje (CBF). Longitud en centímetros (cm) de cubrimiento del follaje sobre el suelo. – Altura de planta (AP). Longitud en centímetros (cm) desde la base de los tallos hasta el brote apical más alto. No se considera la altura de las inflorescencias si sobrepasan el brote apical más alto.
Tallo	<ul style="list-style-type: none"> – Número de tallos primarios (NTP). Se contabiliza en número de tallos principales. – Hábito de ramificación (HR).HR: Se contabiliza la cantidad de ramas por tallos secundarios. – Grosor de tallo (GT). Se mide el diámetro del tallo primario más grueso registrado a la mitad de su altura.
Hoja	<ul style="list-style-type: none"> – Ángulo de divergencia entre la hoja y el tallo (ADHT). Es el ángulo entre el raquis de la hoja y el tallo. La hoja a evaluar debe ser relativamente joven y madura. Se localiza a un cuarto de la altura de la planta desde la parte apical.
Flor	<ul style="list-style-type: none"> – Duración de la floración (DF). Se registró el número de días entre el inicio y final de la floración. Se colocó cero cuando la planta no floreció. – Número de flores por inflorescencia (NFI). Número de flores por inflorescencia. Se registró cero en ausencia de floración. – Ramificación de la inflorescencia (RI). Número de bifurcaciones del pedúnculo por inflorescencia. Se registró cero en ausencia de floración. – Longitud del pedúnculo (LP). Longitud del pedúnculo en cm desde la base a la primera bifurcación medido en por lo menos tres inflorescencias. Se registró cero en ausencia de floración. – Tamaño de la flor (TP). Se determina por el diámetro en mm de flores abiertas. Se registró cero en ausencia de floración.

Fruto	– Número de frutos (NF). 1.- Ninguno (no fructifica), 2.- Pocos (de 1 a 3), 3.- Medios (de 4 a 6). 4.- Altos (mayor de 6).
Órgano	Variables cualitativas
Planta	<p>– Hábito de crecimiento de la planta (HC). Se observa cuando se inicia la formación de botones florales, por cuanto este cambia cuando la planta llega a la madurez. Los tipos de HC (Figura 1) son: 1.- Erecto, 2.- Semierecto, 3.- Decumbente, cuando los tallos se arrastran sobre el suelo, pero con el ápice arriba, 4.- Postrada, cuando los tallos se arrastran sobre el suelo, 5.- Semi rosetado, cuando la mayoría de las hojas están ubicadas en la base de los tallos, muy cercanos a la superficie del suelo. Esta categoría es frecuente en especies silvestres (Hunman, 2008). La descripción gráfica de las categorías se aprecia en la Figura 1.</p> <p>– Longitud de estolones (LE). Se evalúa en el momento de la cosecha: 1.- Largos (de 7 a 9 cm), 2.- Medios (de 5 a 7 cm), 3.- Cortos (de 3 a 5), 4.-Muy cortos (menos de 3).</p> <p>– Unión de estolones (UE). 1.- Fuerte, 2.- Medio, 3.- Débil</p>
Tallo	<p>– Color del tallo (CT). Se registra el color predominante del tallo desde la base hasta el ápice, de acuerdo con los colores codificados en la tabla Munsell (1975) para órganos vegetales. Se planteó la siguiente escala: 1.- Página 2.5GY colores 5/4, 5/6 y 5/8, 2.- Página 2.5GY colores 6/4, 6/6 y 6/8, 3.- Página 2.5GY colores 7/4, 7/6 y 7/8, 4.- Página 5GY colores 4/4 y 4/8, 5.- Página 5GY colores 5/10, 5/4, 5/6 y 5/8, 6.- Página 5GY colores 6/10, 6/4, 6/6 y 6/8, 7.- Página 5RP colores 3/2, 3/4 y 3/6, 8.- Página 5RP colores 4/2, 4/4 y 4/8, 9.- Páginas 5YR3/2, 5GY7/6 y 7.5GY6/4.</p> <p>– Color secundario de tallo (CST). De acuerdo a los colores codificados en la tabla de Munsell (1975) para órganos vegetales, se tiene la siguiente clasificación: 1.- Página 2.5GY colores 5/4, 5/6, 6/4, 6/6 y 6/8, 2.- Página 2.5GY colores 7/6, 7/7, 7/8, 8/4, 3.- Página 5GY colores 4/8, 5/10, 5/6 y 5/8, 4.- Página 5GY colores 6/4, 6/6, 6/8, 6/10, 7/6 y 7/8, 5.- Página 5RP colores 3/2, 3/4, 3/6, 3/8, 4/2, 4/4, 4/6 y 4/8, 6.- Página 5RP colores 5/2, 5/4, 5/6, 5/8, 6/2 y 6/4, 7.- Páginas 2.5R5/2, 5Y6/4, 5Y6/6 y 7.5GY4/4, 8.- Ausente.</p> <p>– Forma transversal del tallo (CTT). Se observa al hacer un corte transversal del tallo. Se tiene: 1.- Redondo, 2.- Angular.</p>

	<ul style="list-style-type: none"> - Forma de las alas del tallo (FAF). Se registra la protuberancia en los ángulos de los entrenudos de los tallos desde la base del tallo hasta el ápice. Hay cultivares que tienen alas ligeramente onduladas en la base del tallo, pero el resto es recto. En estos casos se registra la expresión más predominante a lo largo del tallo, así: 1.- Ausente, 2.- Recto y angosto, 3.- Recto y ancho (>2mm), 4.- Ondulado y angosto, 5.- Ondulado y ancho (>2mm), 6.- Dentado y angosto, 7.- Dentado y ancho (>2mm).
Hoja	<ul style="list-style-type: none"> - Color del haz de la hoja (CHF). De acuerdo con los colores codificados en la tabla de Munsell (1975), se tiene: 1.- Página 2.5GY colores 5/4 y 5/6, 2.- Página 5GY color 3/4, 3.- Página 5GY colores 4/2, 4/4, 4/6 y 4/8, 4.- Página 5GY colores 5/6, 5/8, 6/4 y 6/8, 5.- Página 7.5GY colores 4/2, 4/4 y 4/6, 6.- Página 7.5GY colores 5/4 y 5/6, 7.- Páginas 7.5GY 4/6, 7.5GY 7/4 y 7.5GY 3/4. - Color del envés de la hoja (CE). De acuerdo con los colores codificados en la tabla de Munsell (1975) para órganos vegetales, se registra: 1.- Página 2.5GY colores 5/4, 5/8, 6/4 y 6/6, 2.- Página 2.5GY colores 7/2, 7/4, 7/6 y 8/2, 3.- Página 5GY colores 4/4, 5/4, 5/5, 5/6 y 5/8, 4.- Página 5GY colores 6/2, 6/4, 6/6, 7/4, 7/6 y 7/8, 5.- Página 7.5GY colores 4/4, 5/2 y 5/4, 6.- Página 7.5GY colores 6/4, 6/6, 7/4 y 7/6. - Pubescencias en las hojas (PH). 1.- Glabra con tricomas muy dispersos, 2.- Pubescente, 3.- Fuertemente pubescente. - Pares de folíolos laterales primarios (NPFL). 1.- Dos pares, 2.- Tres pares, 3.- Cuatro pares, 4.- Cinco pares, 5.- Seis pares, 6.- Siete o más pares. - Pares de folíolos insertados en el raquis (NPIL). Número promedio de pares de interhojuelas localizados en el raquis principal entre los folíolos laterales primarios. 1.- Ausente, 2.- Un par, 3.- Dos pares, 4.- Tres pares, 5.- Cuatro o más pares. - Pares de folíolos laterales secundarios sobre los peciolulos (NPSL). Pares de folíolos localizados en la inserción del peciolulo sobre el raquis principal. 1.- Ausente, 2.- Un par, 3.- Dos pares, 4.- Tres pares, 5.- Cuatro o más pares. - Forma del folíolo terminal (FFT). Está determinado por la proporción entre su largo y ancho y la proporción entre la longitud de la parte más ancha hasta el ápice del folíolo y el

	<p>largo del foliolo terminal. Se asume: 1.- Anchamente elíptico (Tla/Tll cerca de 0,5 y Tll/Tlw cerca de 1,5), 2.- Elíptico (Tla/Tll cerca de 0,5 y Tll/Tlw ≥ 2), 3.- Lanceolado (Tla/Tll cerca de 0,8 y Tll/Tlw ≥ 2), 4.- Ovado (Tla/Tll cerca de 0,7 y Tll/Tlw ≥ 2), 5.- Oblanceolado (Tla/Tll cerca de 0,2 y Tll/Tlw ≥ 2), 6.- Obovado (Tla/Tll cerca de 0,3 y Tll/Tlw ≥ 2).</p> <ul style="list-style-type: none"> - Sobreposición de los foliolos laterales primarios (SFLP). Descripción del grado de sobre posición entre los foliolos laterales primarios. 1.- Muy separados (> 2mm de separación entre foliolos), 2.- Separados (1-2mm de separación), 3.- Unidos, 4.- Sobrepuestos (1-2mm de sobre posición), 5.- Muy Sobrepuestos (> 2mm de sobre posición). - Forma del ápice del Foliolo Terminal (FAFT). 1.- Con acumen largo (> 2mm), 2.- Con acumen corto (1-2mm), 3.- Obtuso, 4.- Redondeado. - Forma de la base del foliolo terminal (FBFT). 1.- Cuneado, 2.- Cuneado y decurrente (con alas), 3.- Truncado, 4.- Redondeado, 5.- Cordado, 6.- Desigual o asimétrico - Forma del primer foliolo lateral (Hunman, 2008) - FPFL: Está determinado por la proporción entre su largo y ancho (LLL /LLW) y la proporción entre la longitud de la parte más ancha hasta el ápice del foliolo y el largo del foliolo lateral (LLA / LLL). Se usó la siguiente escala: 1.- Anchamente elíptico (Lla/Lll cerca de 0,5 y Lll/Llw cerca de 1,5), 2.- Elíptico (Lla/Lll cerca de 0,5 y Lll/Llw ≥ 2), 3.- Lanceolado (Lla/Lll cerca de 0,8 y Lll/Llw ≥ 2), 4.- Ovoide (Lla/Lll cerca de 0,7 y Lll/Llw ≥ 2).
Flor	<ul style="list-style-type: none"> - Grado de floración (GF). Se categorizó la expresión promedio de flores por inflorescencia, así: 1.- Sin inflorescencia (Ausente), 2.- Aborto de botones florales (Diferencia entre RI y NFI superior a 8), 3.- Escasa floración (1 a 6 inflorescencias), 4.- Moderada floración (6 a 13 inflorescencias), 5.- Abundante floración (13 a 19 inflorescencias). - Forma de la corola (FC). Está determinado por la proporción entre la longitud del lóbulo del pétalo en mm (CL) y su ancho (CW). 1.- Estrellada (Cl/Cw ≥ 1.2), 2.- Semi-estrellada (Cl/Cw entre 0.9 y 1.1), 3.- Pentagonal (Cl/Cw entre 0,5 y 0,8), 4.- Rotada (Cl/Cw entre 0,3 y 0,4), 5.- Muy rotada (Cl/Cw $\leq 0,2$).

- **Color predominante de la flor (CPF).** De acuerdo con los colores codificados en la tabla de Munsell (1975), se construyó la siguiente escala: 1.- Página 2.5R color 4/6, 2.- Página 5RP colores 3/2, 3/4, 3/6, 3/8 y 3/10, 3.- Página 5RP colores 4/4, 4/6, 4/8, 4/10 y 4/12, 4.- Página 5RP colores 5/4, 5/6 y 5/10, 5.- Página 5RP colores 6/4 y 7/6, 6.- Blanco.
- **Color secundario de la flor - CS:** De acuerdo a los colores codificados en la tabla de Munsell (1975), se registró: 1.- Ausente, 2.- Página 2,5GY colores 4/6, 6/2, 6/4, 8/2, 8/4, 8/6 y 8/8, 3.- Página 2,5Y colores 5/4, 5/6, 6/8, 7/4, 7/6, 7/8, 8/4, 4.- Página 5RP colores 3/2, 3/4, 3/6, 4/4, 4/6, 4/8, 5/2, 5/4, 6/2, 6/4, 7/2, 8/2, 8/7, 5.- Página 5Y colores 5/4, 5/6, 6/2, 6/4, 6/6, 6/8, 7/2, 7/4, 7/6, 7/8, 8/2, 8/4, 8/6, 8/8, 6.- Páginas 2.5R 4/4, 5GY7/2, 7.5GY8/2 y 7.5GY8/2, 7.- Blanco.
- **Distribución del color secundario de la flor (DCSF).** 0.- Ausente, 1.- En el haz del acumen, 2.- En el envés del acumen, 3.- En ambos lados del acumen, 4.- En la estrella del haz, 5.- Bandas en el haz, 6.- Bandas en el envés, 7.- Bandas en ambos lados, 7.- Manchas salpicadas.
- **Color del pedicelo (CP).** De acuerdo con la tabla de Munsell (1975): 1.- Página 2.5GY colores 4/4, 4/5, 2/8, 5/2, 5/6, 5/8, 6/6, 6/8 y 8/4, 2.- Página 5GY colores 3/4, 4/4, 4/6, 5/4, 5/6, 6/4, 6/6, 6/8 y 7/8, 3.- Página 5RP colores 4/2, 4/4, 5/2, 5/4, 3/2, 3/4, 3/6, 4/2, 4/4, 4/6, 5/2, 5/4 y 6/2, 4.- Página 2.5YR4/45Y5/4 y 7.5GY4/4.
- **Ubicación de la articulación del pedicelo (Hunman, 2008)**
- **UAP:** Está determinado por la proporción entre la longitud del pedicelo desde la base hasta la articulación (Pda) y la longitud del pedicelo (Pdc). 1.- Baja (Pda/Pdc > de 1,8), 2.- Central (Pda/Pdc entre 1,8 y 2,4), 3.- Alta (Pda/Pdc entre 2,4 y 3), 4.- Muy alta (Pda/Pdc >3).
- **Color del cáliz - CC:** De acuerdo a los colores codificados en la tabla de Munsell (1975) para órganos vegetales. 1.- Página 2.5Y colores 5/6, 6/6, 6/8 y 7/6, 2.- Página 5RP colores 3/2, 3/4, 3/6, 4/2, 4/4 y 4/6, 3.- Página 5GY colores 3/4, 4/4, 5/6, 6/6 y 7/6, 4.- Página 5Y colores 6/6 y 7/6, 5.- Página 2,5GY colores 5/8 y 8/4, 6.- Página 5YR5/2, 7.- Página 7.5YR5/6.
- **Simetría del cáliz (Hunman, 2008) - SCZ:** Expresión promedio del arreglo de los lóbulos del cáliz. 1.- Simétrico,

	<p>2.- Asimétrico (agrupados en 2+2+1 lóbulos), 3.- Asimétrico (agrupados en 2+3 lóbulos).</p> <ul style="list-style-type: none"> - Forma de los lóbulos del cáliz (Hunman, 2008) - FLC: La forma de los lóbulos de los sépalos del cáliz está determinado por su tamaño (corto >1,5 mm; intermedio desde 1,5 a 3mm; largo>3mm) y la forma del acumen. - 1.- Corto y con mucrón corto, 2.- Corto y con mucrón largo, 3.- Intermedio y con mucrón corto, 4.- Intermedio y con mucrón largo, 5.- Largo y con mucrón corto, 6.- Largo y con mucrón largo. - Forma de la base de los lóbulos del Cáliz (Hunman, 2008) - FBLC: 1.- Suavemente arqueado, 2.- Ligeramente angulado, 3.- Sin costillas. - Forma del estigma (Hunman, 2008) - FEG: 1.- Capitado, 2.- Clavado. - Morfología del pistilo (Hunman, 2008) – MP: 1.- Normal, 2.- Apariencia irregular. - Pigmento del pistilo (Hunman, 2008) - PP: 1.- Ausente sin antocianinas, 2.- Estigma pigmentado (EP), 3.- Ovario pigmentado (OP), 4.- Pared del ovario pigmentada (PO), 5.- Estigma y pared del ovario pigmentado EP Y PO, 6.- Ovario y pared del ovario pigmentado OP Y PO, 7.- Estigma, ovario y pared del ovario pigmentados EP, OP Y PO. - Formación del estambre – FE: 1.- Normal, 2.- Marchito.
<p>Fruto</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Color de los frutos (Hunman, 2008) - CF: Distribución de pigmentación antocianinica (rojo o morado) en los frutos: 1.- Verde, 2.- Verde con pocas manchas blancas, 3.- Verde con abundantes manchas blancas, 4.- Verde con manchas moradas, 5.- Verde con bandas moradas, 6.- Predominantemente morado. - Color primario de los frutos – CRF: De acuerdo a los colores codificados en la tabla de Munsell (1975) para órganos vegetales. 1.- Página 2.5GY colores 5/4, 4/8, 5/6, 5/8, 7/6 y 7/8, 2.- Página 5GY colores 4/4, 4/6, 4/8, 5/4, 5/6, 5/8, 6/4, 6/6, 6/8, 6/10, 7/4, 7/6, 7/8 y 7/10, 3.- Página 5RP colores 3/2, 3/4 y 3/6, 4.- Página 7.5GY colores 3/2, 5/2, 6/4, 6/6, 7/4 y 7/6.

- **Color secundario de los frutos – CSF:** De acuerdo a los colores codificados en la tabla de Munsell (1975) para órganos vegetales. 1.- Ausente, 2.- Página 5GY colores 4/4, 5/6, 5/8 y 5/10, 3.- Página 5RP colores 3/2, 3/4, 3/6, 4/4, 4/6, 5/2 y 5/6, 4.- Blanco.
- **Forma del fruto (Hunman, 2008) (Figura 5) - FF:** Se determina por la proporción del largo (FL) y el diámetro del fruto (FD) registrado en frutos de tamaño promedio (Figura 5). 1.- Globular (FL/Fd menor de 0.9), 2.- Ovoide (FL/Fd de 0.9 a 1.1), 3.- Cónico (FL/Fd mayor de 1.1).

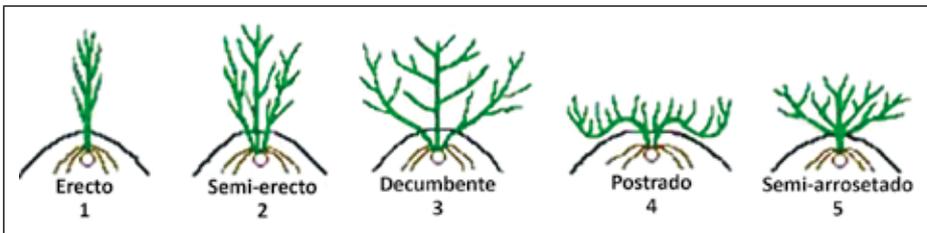


Figura 1. Hábitos de crecimiento de las plantas de papa.

Anexo 4.3. Frecuencias de las categorías de cada variable cualitativa de genotipos de papa criolla (*Solanum tuberosum* grupo Phureja) sometidas a Análisis de Correspondencia Múltiple (ACM).

Variables	Número	Peso	Variables	Número	Peso
Variable: HC			Variable: GF		
C2=1	22,00	0,22	C20=1	0	0
C2=2	20,00	0,20	C20=2	2	0.02
C2=3	3,00	0,3	C20=3	9	0.09
C2=4	11,00	0,11	C20=4	32	0.32
C2=5	3,00	0,3	C20=5	16	0.16
Variable: LE			Variable: FC		
C3=1	4,00	0,04	C21=1	1	0.01
C3=2	43,00	0,43	C21=2	8	0.08
C3=3	9,00	0,09	C21=3	19	0.19
C3=4	3,00	0,03	C21=4	23	0.23
Variable: UE			Variable: CPF		
C4=1	7,00	0,07	C22=1	1	0.01
C4=2	50,00	0,50	C22=2	24	0.24
C4=3	2,00	0,02	C22=3	19	0.19
Variable: CT			Variable: CS		
C5=1	11,00	0,11	C23=1	1	0.01
C5=2	11,00	0,11	C23=2	12	0.12
C5=3	1,00	0,01	C23=3	5	0.05
C5=4	3,00	0,03	C23=4	5	0.05
C5=5	12,00	0,12	C23=5	19	0.19
C5=6	7,00	0,07	C23=6	3	0.03
C5=7	11,00	0,11	C23=7	14	0.14
C5=8	1,00	0,01			
C5=9	2,00	0,02			
Variable: CST					
C6=1	4,00	0,04			

Variables	Número	Peso	Variables	Número	Peso
C6= 2	1,00	0,01	Variable: DCSF		
C6= 3	3,00	0,03	C24=1	2	0.02
C6= 4	1,00	0,01	C24=2	0	0
C6= 5	35,00	0,35	C24=3	1	0.01
C6=6	1,00	0,01	C24=4	0	0
C6=7	4,00	0,04	C24=5	33	0.33
C6=8	10,00	0,10	C24=6	22	0.22
Variable: CTT			C24=7	0	0
C7=1	8,00	0,08	C24=8	1	0.01
C7=2	51,00	0,51	Variable: CP		
Variable: FAF			C25=1	8	0.08
C8=1	1,00	0,01	C25=2	29	0.29
C8=2	18,00	0,18	C25=3	21	0.21
C8=3	5,00	0,05	C25=4	1	0.01
C8=4	18,00	0,18	Variable: AUP		
C8=5	17,00	0,17	C26=1	52	0.52
Variable: CHF			C26=2	7	0.07
C9=1	1,00	0,01	Variable: CC		
C9=2	7,00	0,07	C27=1	11	0.11
C9=3	28,00	0,28	C27=2	42	0.42
C9=4	11,0	0,11	C27=3	2	0.02
C9=5	9,0	0,09	C27=4	4	0.04
C9=6	0,00	0,00	Variable: SCZ		
C9=7	3,00	0,03	C28=1	28	0.28
Variable: CE			C28=2	21	0.21
C10=1	8,00	0,08	C28=3	10	0.1
C10=2	6,00	0,06	Variable: FLC		
C10=3	6,00	0,06	C29=1	1	0.01
C10=4	29,00	0,29	C29=2	11	0.11

Variables	Número	Peso	Variables	Número	Peso
C10=5	2,00	0,02	C29=3	10	0.1
C10=6	8,00	0,08	C29=4	34	0.34
Variable: PH			C29=5	2	0.02
C11=1	49,00	0,49	C29=6	1	0.01
C11=2	9,00	0,09	Variable: FBLC		
C11=3	0,00	0,00	C30=1	59,00	0,59
C11=4	1,00	0,01	C30=2	0,00	0,00
Variable: NPFL			Variable: FEG		
C12=1	6,00	0,06	C31=1	48	0.48
C12=2	38,00	0,38	C31=2	11	0.11
C12=3	15,00	0,15	Variable: MP		
Variable: NPIL			C32=1	59,00	0,59
C13=1	22,00	0,22	C32=2	0,00	0,00
C13=2	9,00	0,09	Variable: PP		
C13=3	5,00	0,05	C33=1	0	0
C13=4	6,00	0,06	C33=2	0	0
C13=5	17,00	0,17	C33=3	2	0.02
Variable: NPSL			C33=4	4	0.04
C14=1	57,00	0,57	C33=5	1	0.01
C14=2	0,00	0,00	C33=6	35	0.35
C14=3	1,00	0,01	C33=7	17	0.17
C14=4	0,00	0,00	Variable: FE		
C14=5	1,00	0,01	C34=1	59,00	0,59
Variable: FFT			C34=2	0,00	0,00
C15=1	35,00	0,35	Variable: CF		
C15=2	11,00	0,11	C35=1	0	0
C15=3	3,00	0,03	C35=2	0	0
C15=4	9,00	0,09	C35=3	0	0
C15=5	0,00	0,00	C35=4	20	0.2

Variables	Número	Peso	Variables	Número	Peso
C15=6	1,00	0,01	C35=5	32	0.32
Variable: SFLP			C35=6	4	0.04
C16=1	0,00	0,00	Variable: CRF		
C16=2	1,00	0,01	C36=1	2	0.02
C16=3	2,00	0,02	C36=2	45	0.45
C16=4	2,00	0,02	C36=3	5	0.05
C16=5	54,0	0,54	C36=4	4	0.04
Variable: FAFT			Variable: CSF		
C17=1	31	0,31	C37=1	2	0.02
C17=2	22	0,22	C37=2	6	0.06
C17=3	6	0,06	C37=3	47	0.47
Variable: FBFT			C37=4	1	0.01
C18=1	9	0.09	Variable: FF		
C18=2	5	0.05	C38=1	3	0.03
C18=3	0	0	C38=2	41	0.41
C18=4	3	0.03	C38=3	12	0.12
C18=5	2	0.02			
C18=6	40	0.4			
Variable: FPFL					
C19=1	54	0.54			
C19=2	4	0.04			
C19=3	0	0			
C19=4	1	0.01			

Anexo 4.4. Frecuencias de las categorías de cada variable cualitativa de genotipos de papa criolla (*Solanum tuberosum* grupo Andígena) sometidas a Análisis de Correspondencia Múltiple (ACM).

Variables	Número	Peso	Variables	Número	Peso
Variable: HC			Variable: FPFL		
C2=1	12	12,00	C19=1	45	45,00
C2=2	27	27,00	C19=2	5	5,00
C2=3	6	6,00	C19=3	1	1,00
C2=4	10	10,00	C19=4	5	5,00
C2=5	1	1,00	Variable: GF		
Variable: LE			C20=1	14	14,00
C3=1	1	1,00	C20=2	1	1,00
C3=2	53	53,00	C20=3	36	36,00
C3=3	2	2,00	C20=4	5	5,00
Variable: UE			Variable: FC		
C4=1	5	5,00	C21=1	9	9,00
C4=2	50	50,00	C21=2	21	21,00
C4=3	1	1,00	C21=3	14	14,00
Variable: CT			C21=4	1	1,00
C5=1	1	1,00	C21=5	11	11,00
C5=2	6	6,00	Variable: CPF		
C5=3	2	2,00	C22=2	20	20,00
C5=4	2	2,00	C22=3	12	12,00
C5=5	9	9,00	C22=4	10	10,00
C5=6	6	6,00	C22=5	3	3,00
C5=7	27	27,00	Variable: CS		
C5=8	2	2,00	C23=1	1	1,00
C5=9	1	1,00	C23=2	3	3,00
Variable: CST			C23=3	4	4,00
C6=1	4	4,00	C23=4	26	26,00

Variables	Número	Peso	Variables	Número	Peso
C6=2	6	6,00	C23=5	7	7,00
C6=3	13	13,00	C23=6	1	1,00
C6=4	11	11,00	C23=7	3	3,00
C6=5	18	18,00	Variable: DCSF		
C6=6	2	2,00	C24=1	1	1,00
C6=7	2	2,00	C24=2	3	3,00
Variable: CTT			C24=3	1	1,00
C7=1	3	3,00	C24=4	6	6,00
C7=2	53	53,00	C24=5	25	25,00
Variable: FAF			C24=6	4	4,00
C8=1	2	2,00	C24=7	1	1,00
C8=2	11	11,00	C24=8	3	3,00
C8=3	3	3,00	C24=9	1	1,00
C8=4	25	25,00	Variable: CP		
C8=5	10	10,00	C25=1	2	2,00
C8=6	4	4,00	C25=2	3	3,00
C8=7	1	1,00	C25=3	38	38,00
Variable: CHF			C25=4	2	2,00
C9=1	2	2,00	Variable: AUP		
C9=2	8	8,00	C26=1	36	36,00
C9=3	16	16,00	C26=2	6	6,00
C9=4	3	3,00	C26=3	2	2,00
C9=5	15	15,00	C26=4	1	1,00
C9=6	2	2,00	Variable: CC		
C9=7	10	10,00	C27=1	1	1,00
Variable: CE			C27=2	41	41,00
C10=1	3	3,00	C27=3	2	2,00
C10=2	8	8,00	C27=4	1	1,00
C10=3	11	11,00			

Variables	Número	Peso	Variables	Número	Peso
C10=4	12	12,00	Variable: SCZ		
C10=5	16	16,00	C28=1	42	42,00
C10=6	6	6,00	C28=2	2	2,00
Variable: PH			C28=3	12	12,00
C11=1	34	34,00	Variable: FLC		
C11=2	19	19,00	C29=1	6	6,00
C11=3	3	3,00	C29=2	17	17,00
Variable: NPFL			C29=3	6	6,00
C12=1	1	1,00	C29=4	9	9,00
C12=2	18	18,00	C29=5	4	4,00
C12=3	20	20,00	C29=6	2	2,00
C12=4	10	10,00	Variable: FBLC		
C12=5	6	6,00	C30=1	42	42,00
C12=6	1	1,00	C30=2	2	2,00
Variable: NPIL			Variable: FEG		
C13=1	19	19,00	C31=1	20	20,00
C13=2	9	9,00	C31=2	24	24,00
C13=3	6	6,00	Variable: MP		
C13=4	9	9,00	C32=1	43	43,00
C13=5	13	13,00	C32=2	1	1,00
Variable: NPSL			Variable: PP		
C14=1	11	11,00	C33=1	6	6,00
C14=2	2	2,00	C33=2	2	2,00
C14=3	2	2,00	C33=3	5	5,00
C14=4	8	8,00	C33=4	0	0,00
C14=5	33	33,00	C33=5	2	2,00
Variable: FFT			C33=6	18	18,00
C15=1	38	38,00	C33=7	11	11,00

Variables	Número	Peso	Variables	Número	Peso
C15=2	7	7,00	Variable: FE		
C15=4	9	9,00	C34=1	43	43,00
C15=6	2	2,00	C34=2	1	1,00
Variable: SFLP			Variable: CF		
C16=1	11	11,00	C35=1	8	8,00
C16=2	11	11,00	C35=2	4	4,00
C16=3	2	2,00	C35=3	4	4,00
C16=4	5	5,00	C35=4	11	11,00
C16=5	27	27,00	C35=5	9	9,00
Variable: FAFT			C35=6	1	1,00
C17=1	18	18,00	Variable: CRF		
C17=2	30	30,00	C36=1	9	9,00
C17=3	5	5,00	C36=2	17	17,00
C17=4	3	3,00	C36=4	11	11,00
Variable: FBFT			Variable: CSF		
C18=1	11	11,00	C37=1	8	8,00
C18=2	10	10,00	C37=3	24	24,00
C18=3	1	1,00	C37=4	5	5,00
C18=4	2	2,00	Variable: FF		
C18=5	10	10,00	C38=1	5	5,00
C18=6	22	22,00	C38=2	31	31,00
			C38=3	1	1,00

Este libro de investigación llamado "Avances en el mejoramiento genético de la papa (*Solanum tuberosum* L.) para el sur de Colombia", tiene como objetivo y propósito principal, presentar los resultados de investigación generados en el proyecto "Mejoramiento Tecnológico y Productivo del sistema papa en el departamento de Nariño", financiado por el Fondo CTel del SGR.

Este libro está estructurado en siete capítulos que fueron desarrollados por diversos autores, bajo los preceptos del método científico, en el cual se abordan las investigaciones relacionadas con la caracterización morfológica y la diversidad genética del germoplasma que hace parte de la colección de trabajo de la papa de la Universidad de Nariño; así mismo, se analiza y se discute la respuesta de genotipos a estrés, a diferentes niveles de fertilización y la reacción de genotipos a la enfermedad causada por *Phytophthora infestans*, que es el principal problema biótico que se presenta en las regiones productoras de papa de América Latina y el mundo.

Las investigaciones detalladas en este libro, son la base para consolidar un programa de mejoramiento genético del cultivo de papa para el sur de Colombia.

Tulio César Lagos Burbano I.A, Ph.D

ISBN: 978-628-7509-14-6



Editorial
Universidad de **Nariño**