

**COMPORTAMIENTO FISIOLÓGICO Y RENDIMIENTO DE SEMILLA BÁSICA
Y REGISTRADA DE PAPA (*Solanum tuberosum* L. spp. *andigena* y *Solanum
phureja*).**

MÓNICA ELIANA CÓRDOBA FIGUEROA

**UNIVERSIDAD DE NARIÑO
MAESTRÍA EN CIENCIAS AGRARIAS
ÉNFASIS EN PRODUCCIÓN DE CULTIVOS
SAN JUAN DE PASTO
2019**

**COMPORTAMIENTO FISIOLÓGICO Y RENDIMIENTO DE SEMILLA BÁSICA
Y REGISTRADA DE PAPA (*Solanum tuberosum* L. spp. *andigena* y *Solanum
phureja*).**

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

MÓNICA ELIANA CÓRDOBA FIGUEROA

Presidente de tesis:

Hernando Criollo Escobar Ph.D.

Co presidente de tesis:

Julián Mateus Rodríguez M.Sc.

**UNIVERSIDAD DE NARIÑO
MAESTRÍA EN CIENCIAS AGRARIAS
ÉNFASIS EN PRODUCCIÓN DE CULTIVOS
SAN JUAN DE PASTO**

2019

NOTA DE RESPONSABILIDAD

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

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

NOTA DE ACEPTACIÓN

Carlos Andrés Benavides Cardona. M.Sc.

Jurado delegado

Sandra del Carmen Insuasty Córdoba. M.Sc.

Jurado

Luis Felipe Alvarado Espitia. M.Sc.

Jurado

Hernando Criollo Escobar. Ph.D.

Presidente

Julián Mateus Rodríguez. M.Sc.

Co Presidente

San Juan de Pasto, Abril del 2019

AGRADECIMIENTOS

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

Al Sistema General de Regalías y a la Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria – AGROSAVIA por financiar el trabajo de grado.

Al grupo de trabajo del proyecto “Mejoramiento productivo del sistema papa para el departamento de Nariño” por la confianza depositada, por brindar sus conocimientos, por el acompañamiento permanente y sobre todo por su amistad.

Mis más sinceros agradecimientos al presidente de este trabajo Hernando Criollo Escobar Ph.D. por su paciencia, amistad, apoyo incondicional y por brindar todos sus conocimientos.

Al Co Presidente Julián Mateus Rodríguez M.Sc. por su acompañamiento, disponibilidad para resolver dudas y sugerencias al trabajo.

A los jurados Carlos Andrés Benavides Cardona M.Sc., Sandra del Carmen Insuasty Córdoba M.Sc. y Luis Felipe Alvarado Espitia M.Sc. por la dedicación de tiempo en la lectura y sugerencias en el trabajo.

A todos muchas gracias.

DEDICATORIA

A Dios, porque siempre voy de su mano.

A mis padres Jesús Afranio Córdoba Santacruz y Alcira del Socorro Figueroa Dávila, quienes me encomendaron en sus oraciones y me apoyaron durante el desarrollo de esta investigación.

A mi hermana Deicy Tatiana Córdoba Figueroa por escucharme en los momentos de cansancio y por brindarme a diario voz de aliento hasta la culminación de la investigación.

La vida es soñar, dar lo mejor de sí y alcanzar las metas.

RESUMEN

La papa *Solanum tuberosum* L. es el cuarto cultivo alimenticio más importante del mundo después del maíz, el arroz y el trigo. Dentro de la productividad del cultivo, la semilla de calidad es un factor clave que permite obtener altos rendimientos. En los sistemas de producción de semilla, en las categorías básica y registrada se realiza con prácticas agronómicas desconociendo el comportamiento fisiológico de la especie. En consecuencia, esta investigación se realizó en el Centro de Investigación Obonuco de la Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria – AGROSAVIA, para evaluar la fenología y crecimiento de seis genotipos de papa de *Solanum tuberosum* L. spp. *andigena* (grupo andigena) y cuatro de *Solanum phureja* (grupo phureja); igualmente, se analizaron los componentes de rendimiento de semilla básica y registrada de los mismos genotipos cultivados en diferentes densidades de siembra. Durante la producción de semilla básica y registrada; se establecieron ensayos por separado de los genotipos del grupo andigena y del grupo phureja empleando un diseño de franjas divididas, con tres bloques. Se involucraron dos factores A (densidad de siembra) y B (genotipos). Se realizaron: observaciones periódicas para determinar la fenología con base en grados día, quincenalmente hasta la cosecha muestreos destructivos para conocer la materia seca, estimar el área foliar y obtener modelos de crecimiento mediante el análisis funcional (IAF, IAN, ICR, ICC); así como también, el índice de cosecha. En la producción de semilla básica y registrada, se determinó el número de tallos principales/m², número de tubérculos, rendimiento y clasificación de los tubérculos por planta (resolución ICA No. 3168 del 07 de septiembre del 2015). Los resultados mostraron que los genotipos requieren acumular diferentes grados térmicos para completar el ciclo de vida. El comportamiento de las variables fisiológicas presentó un mejor ajuste a los modelos de Hoerl, de Gaussian y polinómico de tercer grado. Los genotipos desarrollaron un IAF que osciló entre 2,91 y 6,11 para el grupo andigena y entre 2,70 y 4,23 para el grupo phureja. El índice de cosecha osciló entre 73% y 89% para el grupo andigena y entre 68% y 73% para el grupo phureja. Las densidades de siembra evaluadas tanto para la producción de semilla básica como para registrada en los genotipos del grupo andigena y del grupo phureja no afectó las variables de rendimiento, excepto para

la variable número de tallos principales principales/m². El porcentaje promedio de producción de tubérculos semilla en las categorías básica y registrada fue de 83,31 % y 76,99%, respectivamente, para el grupo andigena; y de 66,72 % y 55,06%, respectivamente para los del grupo phureja. El análisis de sendero mostró que la variable número de tubérculos por planta fue la que más se asocia con el rendimiento semilla y presentó mayor efecto directo en los dos grupos de genotipos evaluados.

Palabras claves: papa, fenología, fisiología, crecimiento, densidad de siembra, componentes de rendimiento.

ABSTRACT

After corn, rice and wheat, potato (*Solanum tuberosum* L.) is the fourth most important food crop in the world. Along productivity, the quality is an important factor related to the final yield. In seeds production systems, the basic and registered categories are carried out with agronomic practices that ignore the physiological responses. With the aim to study physiological seed performance, this research was developed at the Obonuco Research Center of the Colombian Corporation for Agricultural Research - AGROSAVIA, where evaluating the phenology and growth of six potato genotypes of *Solanum tuberosum* L. spp. andigena (andigena group) and four genotypes of *Solanum phureja* (phureja group). Yield components of basic and registered seed of the same genotypes grown in different planting densities were also analyzed during the production of basic and registered seed. The experimental trials were established separately from andigena genotype group and phureja genotype group using a split-strip design with three blocks. Planting density and genotypes factors were involved. Observations over the time were made to determine the phenology based on the day degrees, fortnightly until harvesting destructive samplings in order to calculate dry biomass, leaf area and growth models through functional analysis (LAI, NAI, RGI, CGI) and harvest index. Yield components in basic and registered propagation, the number of main stems.m⁻², number of tubers, yield and classification of the tubers per plant were determined according to ICA Resolution No. 3168 7th September, 2015. The results showed that genotypes require accumulating different thermal degrees to reach the maturity and senescence. The best curve fitted related to the physiological variables were Hoerl, Gaussian and third-degree polynomial models. The genotypes presented IAF ranged from 2.91 to 6.11 for the andigena group and from 2.70 to 4.23 for the phureja group. Harvest index ranged from 73% to 89% for the andigena group and from 68% to 73% for the phureja group. Densities evaluated both for the basic seed production and for those recorded in the genotypes of the andigena group and phureja group did not affect the yield components, except for number of main main stems.m⁻². The ercentage of seed tuber production in basic and registered categories was 83.31% and 76.99%, respectively, for the andigena group; and 66.72% and 55.06%, respectively for those of the phureja group. The

path analysis showed that number of tubers per plant was the one that is most associated with seed yield and had a greater direct effect in the two groups of genotypes evaluated under this experiment.

Keywords: potato, phenology, physiology, growth, planting density, yield components.

CONTENIDO

I.	INTRODUCCIÓN	20
II.	MARCO TEORICO	23
2.1.	Papa <i>Solanum tuberosum</i> L.	23
2.1.1.	Clasificación taxonómica, origen y distribución.	23
2.1.2.	Descripción morfológica de los genotipos estudiados	24
2.2.	Producción de semilla de papa.....	27
2.2.1.	Producción convencional.....	28
2.2.2.	Micropropagación.....	28
2.2.3.	Hidroponía	30
2.2.4.	Aeroponía	30
2.3.	Importancia de la semilla	31
2.3.1.	Clases de semilla de papa de acuerdo con la normatividad legal	32
2.3.2.	Fases de producción de papa	33
2.4.	Fenología de la papa	33
2.5.	Fisiología de la papa	35
2.6.	Análisis de Crecimiento	36
2.6.1.	Área Foliar Total (AF).....	36
2.6.2.	Índice de Área Foliar (IAF)	37
2.6.3.	Índice de Asimilación Neta (IAN).....	38
2.6.4.	Índice de crecimiento relativo (ICR)	39
2.6.5.	Índice Crecimiento del Cultivo (ICC)	40
2.6.6.	Materia Seca	41
2.6.7.	Índice de Cosecha (IC)	42
2.7.	Rendimiento de la papa.....	43
III.	METODOLOGÍA.....	45
3.1.	Localización.....	45

3.2.	Condiciones climáticas	45
3.3.	Geología, geomorfología y clasificación taxonómica del suelo del área experimental.....	45
3.4.	Material Vegetal	46
3.5.	Diseño experimental	46
3.5.1.	Ciclo 1. Evaluación de semilla básica de <i>Solanum tuberosum</i> L. spp <i>andigena</i> y <i>Solanum phureja</i>	46
3.5.2.	Ciclo 2. Evaluación de semilla registrada de <i>Solanum tuberosum</i> L. spp <i>andigena</i> y <i>Solanum phureja</i>	49
3.6.	Manejo Agronómico	50
3.6.1.	Preparación y adecuación del área experimental.....	50
3.6.2.	Fertilización	51
3.6.3.	Riego.....	53
3.6.4.	Aporque	54
3.6.5.	Manejo Sanitario	54
3.7.	Variables evaluadas	55
3.7.1.	Fenología y requerimientos térmicos	55
3.7.2.	Crecimiento	56
3.7.3.	Componentes de Rendimiento.....	59
3.8.	Análisis estadístico.	61
3.8.1.	Fenología y requerimientos térmicos.	61
3.8.2.	Crecimiento.	61
3.8.3.	Componentes de rendimiento.	61
3.8.4.	Análisis de sendero.....	62
4.	RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	63
4.1.	GRUPO ANDIGENA.....	63
4.1.1.	Fenología y requerimientos térmicos	63
4.1.2.	Crecimiento	68
4.1.3.	Componentes de rendimiento.	85
4.1.4.	Análisis de sendero.....	95

4.2. GRUPO PHUREJA	97
4.2.1. Fenología y requerimientos térmicos	97
4.2.2. Crecimiento	102
4.2.3. Componentes de rendimiento.	117
4.2.4. Análisis de Sendero	126
5. CONCLUSIONES	128
6. BIBLIOGRAFIA.....	129

LISTA DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1. Factor A. Densidades de siembra en semilla básica, discriminadas por distancias de siembra y grupo.	47
Tabla 2. Factor B. Genotipos, discriminado por grupo en semilla básica.	47
Tabla 3. Densidades de siembra en semilla registrada, discriminadas por distancias de siembra y grupo.	49
Tabla 4. Factor B. Genotipos, discriminado por grupo en semilla registrada.	49
Tabla 5. Resultados análisis de suelo.	52
Tabla 6. Escala BBCH para papa modificada para este estudio.	56
Tabla 7. Cuadrados medios y significación del ANOVA para el número de tallos por metro cuadrado (NTam ²), número de tubérculos por planta (NTuP), peso promedio de tubérculo (PCTu), rendimiento por planta (RtoP), clasificación de los tubérculos (%CITu) de semilla básica del grupo andígena.	85
Tabla 8. Cuadrados medios y significación del ANOVA para el número de tallos por metro cuadrado (NTam ²), número de tubérculos por planta (NTuP), promedio de tubérculo (PCTu), rendimiento por planta (RtoP), clasificación de los tubérculos (CITu%) de semilla registrada del grupo andígena.	85
Tabla 9. Prueba de comparación de medias de Tukey factor densidad de siembra para las variable número de tallos por metro cuadrado (NTam ²) en semilla básica y registrada del grupo andígena.	86

Tabla 10. Prueba de comparación de medias de Tukey para las variables número de tallos por metro cuadrado ($NTam^2$), número de tubérculos por planta ($NTuP$), peso promedio de tubérculo ($PCTu$), rendimiento por planta ($RtoP$), porcentaje de clasificación de los tubérculos ($CITu\%$) de semilla básica del grupo andigena. 88

Tabla 11. Prueba de comparación de medias de Tukey para las variables número de tallos por metro cuadrado ($NTam^2$), número de tubérculos por planta ($NTuP$), peso promedio de tubérculo ($PCTu$), rendimiento por planta ($RtoP$), clasificación de los tubérculos ($CITu\%$) de semilla registrada del grupo andigena. 89

Tabla 12. Análisis de sendero para el rendimiento de semilla registrada de genotipos del grupo andigena. 96

Tabla 13. Cuadrados medios y significación del ANOVA para el número de tallos por metro cuadrado ($NTam^2$), número de tubérculos por planta ($NTuP$), peso de cada tubérculos ($PCTu$), rendimiento por planta ($RtoP$), clasificación de los tubérculos ($CITu\%$) de semilla básica del grupo phureja. 117

Tabla 14. Cuadrados medios y significación del ANOVA para el número de tallos por metro cuadrado ($NTam2$), número de tubérculos por planta ($NTuP$), peso de cada tubérculos ($PCTu$), rendimiento por planta ($RtoP$), clasificación de los tubérculos ($CITu\%$) de semilla registrada del grupo phureja. 118

Tabla 15. Prueba de comparación de medias de Tukey factor densidad de siembra para las variable número de tallos por metro cuadrado ($NTam^2$) en semilla básica del grupo phureja. 119

Tabla 16. Prueba de comparación de medias de Tukey factor genotipo para las variables número de tallos por metro cuadrado ($NTam^2$), número de tubérculos por planta ($NTuP$),

peso promedio de tubérculo (PCTu) y porcentaje de clasificación de los tubérculos (%CITu) de semilla básica del grupo phureja. 121

Tabla 17. Prueba de comparación de medias de Tukey para las variables número de tubérculos por planta (NTuP), peso promedio de tubérculo (PCTu) y porcentaje de clasificación de los tubérculos (CITu%) semilla registrada del grupo phureja. 122

Tabla 18. Análisis de sendero para el rendimiento de semilla registrada de *S. phureja*. .. 127

LISTA DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1. Diagrama del diseño experimental franjas divididas.	48
Figura 2. Grados día (GD) requeridos para alcanzar los principales estados fenológicos de los genotipos Pastusa Superior (PSup), Roja Nariño (RN), Parda Pastusa (PP), Ica Unica (IU), Diacol Capiro (DC), Pastusa Suprema (PSupr).	63
Figura 3. Altura de planta de los genotipos Diacol Capiro (DC), Ica Unica (IU), Parda Pastusa (PP), Pastusa Superior (PSup) y Pastusa Suprema (PSupr).	70
Figura 4. Comportamiento del área foliar (AF) por planta de los genotipos Diacol Capiro (DC), Ica Unica (IU), Parda Pastusa (PP), Pastusa Superior (PSup) y Pastusa Suprema (PSupr).	71
Figura 5. Dinámica del comportamiento del índice de área foliar (IAF) por planta de los genotipos Diacol Capiro (DC), Ica Unica (IU), Parda Pastusa (PP), Pastusa Superior (PSup) y Pastusa Suprema (PSupr).	74
Figura 6. Comportamiento del índice de asimilación neta (IAN) por planta de los genotipos Diacol Capiro (DC), Ica Unica (IU), Parda Pastusa (PP), Pastusa Superior (PSup) y Pastusa Suprema (PSupr).	76
Figura 7. Índice de crecimiento relativo (ICR) por planta de los genotipos Diacol Capiro (DC), Ica Unica (IU), Parda Pastusa (PP), Pastusa Superior (PSup) y Pastusa Suprema (PSupr).	78

- Figura 8.** Dinámica del índice de crecimiento del cultivo (ICC) por planta de los genotipos Diacol Capiro (DC), Ica Unica (IU), Parda Pastusa (PP), Pastusa Superior (PSup) y Pastusa Suprema (PSupr). 79
- Figura 9.** Dinámica del comportamiento de la materia seca total por planta (MSTP) de los genotipos Diacol Capiro (DC), Ica Unica (IU), Parda Pastusa (PP), Pastusa Superior (PSup) y Pastusa Suprema (PSupr). 80
- Figura 10.** Distribución porcentual de materia seca de los órganos de la planta en genotipos de papa spp. andigena. A. Parda Pastusa, B. Pastusa Superior, C. Ica Unica, D. Pastusa Suprema, E. Diacol Capiro. 83
- Figura 11.** Grados días (GD) requeridos para alcanzar los principales estados fenológicos de los genotipos Criolla Dorada (CD), Criolla Colombia (CC), Ratona Morada (RM), Tornilla Blanca (TB). 97
- Figura 12.** Dinámica del comportamiento de la altura de planta de los genotipos Criolla Colombia (CC), Criolla Dorada (CD), Ratona Morada (RM) y Tornilla Blanca (TB). 103
- Figura 13.** Comportamiento del área foliar (AF) por plantas de los genotipos Criolla Colombia (CC), Criolla Dorada (CD), Ratona Morada (RM) y Tornilla Blanca (TB). 105
- Figura 14.** Comportamiento del índice de área foliar (IAF) por plantas de los genotipos Criolla Colombia (CC), Criolla Dorada (CD), Ratona Morada (RM) y Tornilla Blanca (TB). 106
- Figura 15.** Comportamiento del índice de asimilación neta (IAN) por planta de los genotipos CC, CD, RM y TB. 108

Figura 16. Comportamiento del índice de crecimiento relativo (ICR) por plantas de los genotipos Criolla Colombia (CC), Criolla Dorada (CD), Ratona Morada (RM) y Tornilla Blanca (TB). 109

Figura 17. Comportamiento del índice de crecimiento del cultivo (ICC) por planta de los genotipos Criolla Colombia (CC), Criolla Dorada (CD), Ratona Morada (RM) y Tornilla Blanca (TB). 111

Figura 18. Dinámica del comportamiento de la materia seca total por planta (MSTP) de los genotipos Criolla Colombia (CC), Criolla Dorada (CD), Ratona Morada (RM) y Tornilla Blanca (TB). 112

Figura 19. Distribución porcentual de materia seca de los órganos de la planta en genotipos de papa S. phureja. A. Criolla Dorada, B. Criolla Colombia, C. Ratona Morada, D. Tornilla Blanca. 115

I. INTRODUCCIÓN

La papa *Solanum tuberosum* L. es una planta dicotiledónea herbácea perteneciente a la familia de las *Solanáceas*. Su origen y domesticación tuvo lugar en la sierra del Perú, fue cultivada intensivamente por primera vez en la región que circunda el Lago Titicaca, asociado al desarrollo cultural de la sociedad Tiwanaku. La segunda gran expansión, se da durante la creación del imperio Inca del Tawantinsuyo, que se extendió desde el sur de Colombia hasta la zona central de Chile (Rodríguez, 2010; Morales, 2007).

La papa es el cuarto cultivo alimenticio más importante del mundo después del maíz, el arroz y el trigo, representa una fuente importante de alimentos e ingresos económicos para los agricultores no solo en América sino a nivel mundial, razón por la cual en el campo de la agricultura sostenible es necesaria la utilización de tecnologías agronómicas que permitan alcanzar mejores logros productivos traducidos en rendimientos de alta calidad (Ñústez *et al.*, 2003; FAO, 2011; Veneros, 2014).

En Colombia, la producción de papa se concentra en regiones de montaña, de clima frío, ubicadas entre los 2.000 y 3.500 msnm, con una zona óptima de producción para las variedades *Solanum* ubicada entre los 2.500 y 3.000 msnm (Haverkort, 1989; Hijmans, 2001).

El departamento de Nariño ocupa el tercer lugar en el país en términos de producción, con un área sembrada de 16.088 hectáreas, una producción de 302.884 toneladas y un rendimiento de 20,3 toneladas por hectárea de *Solanum tuberosum* L spp. *andigena*, para *Solanum phureja* se reportó un área de 1.226 hectáreas sembradas, una producción de 14.6 toneladas y un rendimiento 12,7 toneladas por hectárea (Consolidado Agropecuaria de Nariño, 2017).

Para la productividad del cultivo de papa la semilla es un factor clave, se puede considerar como el primer eslabón en toda la cadena de valor. La semilla de alta calidad es una de las

principales condiciones para obtener un alto rendimiento. También es la manera de asegurar la difusión del progreso genético (Queré, 2017).

La producción de papa en Colombia se realiza con semilla asexual (propagación vegetativa) a partir de tubérculos, esto permite mantener su constitución genética, pero puede ser entre otros un factor de diseminación de enfermedades que reducen su capacidad productiva. Por tal razón, la recomendación es hacer uso de semilla de alta calidad que reúna una serie de atributos genéticos, físicos, fisiológicos y sanitarios (Montesdeoca, 2006). La disponibilidad de semilla de calidad es una de las principales restricciones en la producción de papa, especialmente en los países en desarrollo, dado que la mayoría de los agricultores reciclan sus propias semillas o las obtienen de fuentes informales (MADR, 2014; Montesdeoca; 2006, Buckseth; 2016, Salazar, 1996). En Colombia solo un 3% de los cultivos de papa utilizan este insumo (ACOSEMILLAS, 2018) mientras que, en el departamento de Nariño, el uso de semilla certificada para el año 2015 correspondió al 5% del área sembrada (FEDEPAPA, 2015).

A pesar de la importancia que tiene el cultivo de papa en Colombia son pocas las investigaciones relacionadas con la producción de semilla que involucren el comportamiento de los genotipos y especies nativas utilizadas por pequeños y medianos productores, estableciendo diferentes densidades de siembra a nivel de producción de semilla básica y registrada, que proporcionen calidad, altos rendimientos y sean ajustadas al manejo agronómico en los sistemas de producción de semilla, en donde expresen su máximo potencial genético. Se han desarrollado trabajos relacionados con fisiología del cultivo de papa, especialmente en fenología, crecimiento, desarrollo y rendimiento con genotipos de importancia para otras regiones del país. De ahí la necesidad de evaluar el comportamiento fisiológico de genotipos de *Solanum tuberosum* L. spp. *andigena* y de *Solanum phureja*, obtenidos a partir de semilla pre básica en el departamento de Nariño.

Teniendo en cuenta lo anterior, los objetivos de este trabajo fueron:

Evaluar la fenología y crecimiento de los genotipos Pastusa Superior, Roja Nariño, Parda Pastusa, Diacol Capiro, Pastusa Suprema, Ica Unica de *Solanum tuberosum* L. spp. *andigena* y Ratona Morada, Tornilla Blanca, Criolla Colombia y Criolla Dorada de *Solanum phureja*.

Analizar los componentes de rendimiento de semilla básica y registrada de seis genotipos de *Solanum tuberosum* L. spp. *andigena* y cuatro de *Solanum phureja* bajo diferentes densidades de siembra.

II. MARCO TEORICO

2.1. Papa *Solanum tuberosum* L.

2.1.1. Clasificación taxonómica, origen y distribución.

Según Estévez y González (2007) el sistema taxonómico de la papa es:

GÉNERO *Solanum* Linnaeus

SUBGÉNERO *Potatoe* (G.Don) Arcy

SECCIÓN *Petota* Dumortier

SUBSECCIÓN *Potatoe* G. Don

SERIE XVI: Tuberosa (Rydb.) Hawkes

Entre las especies cultivadas de papa, se encuentran *Solanum tuberosum* L. subsp. andigena Hawkes y *S. phureja* Juz. and Bukasov subsp. Phureja (Spooner *et al.*, 2010)

La mayor variabilidad genética de papa se reporta para Perú y Bolivia, alrededor del lago Titicaca, de donde se extendió a Chile, Ecuador y Colombia, países en los que fue cultivada por las comunidades chibchas (Brown, 1993; Spooner *et al.*, 2005).

S. phureja se distribuye ampliamente en una larga y estrecha franja de los Andes, desde Venezuela hasta el centro de Bolivia, se caracteriza por presentar tubérculos pequeños, adaptación a días cortos, ausencia de dormancia (Bradshaw, 2007) y ploidía

predominantemente diploide (Ghislain *et al.*, 2006), razón por la cual fue clasificada en un grupo diferente (Sponner *et al.*, 2007).

S. tuberosum L. subsp. *andigena*, constituyen un grupo importante de cultivares nativos seleccionados por agricultores andinos, que se cultiva a lo largo de los Andes, y forman tubérculos bajo condiciones de día corto (Hawkes, 1992; Sukhotu y Hosaka, 2006), provienen de *S. stenotomum* a través de repetidos procesos de poliploidización sexual ocurridos en diversos lugares, con la consiguiente hibridación interespecífica e intervarietal a través de cruces ($4x \times 4x$) y/o ($2x \times 4x$ ó $4x \times 2x$) (Sukhotu y Hosaka, 2006).

2.1.2. Descripción morfológica de los genotipos estudiados

A continuación por grupo se nombran las características de los genotipos estudiados:

- Grupo Andigena.

Ica única: Parentales: E-59-42 (Clon neotuberosum ssp adg) x Masal de polen (variedades nativas colombianas; tipo de cultivar: Mejorado; entidad Obtentora: ICA; investigadores obtentores: Ramón Pineda, Edgar Hernández; año de liberación: 1995. Presenta porte alto, follaje verde oscuro, floración media y poca formación de frutos. Es relativamente tardía (165 días, 2600 msnm), posee adaptación (entre 2.000 y 3.500 msnm), buena calidad culinaria para consumo en fresco. Tiene corto periodo de reposo (1,5 meses a 15°C y 75% H.R.). Su rendimiento en condiciones óptimas de cultivo es superior a las 40 t.ha⁻¹. Fue la primera variedad que se liberó en Colombia con color de piel claro, que presentó alta aceptación en el mercado (Ñústez, 2011).

Parda Pastusa: Parentales: Quincha (*adg*) x Tocana colorada (*adg*); tipo de cultivar: mejorado; entidad Obtentora: ICA; investigadores obtentores: Nelson Estrada y Colaboradores: Año de liberación: 1955. La planta presenta porte alto, con follaje verde ligeramente claro, alta floración y alta formación de frutos. La variedad es tardía (> 180

días), con adaptación a las zonas altas de los Andes Colombianos (2.900- 3.400 msnm), un rendimiento en condiciones óptimas de cultivo entre 20 y 30 t.ha⁻¹. El tubérculo en fresco es de excelente calidad culinaria para consumo. Presenta valores de materia seca entre 21 y 24% y no tiene aptitud para frito. El periodo de reposo es de tres meses (15°C y 75% H.R.) (Ñústez, 2011).

Diacol Capiro: Parentales: CCC 751 (ssp. *tuberosum*) x Tuquerreña (CCC 61 ssp. *andigena*); institución obtentora ICA; tipo de cultivar: mejorado; investigadores obtentores Nelson Estrada Ramos y colaboradores, año de liberación 1968. Se conoce en el mercado con el nombre alterno de “R-12”. Presenta porte medio, follaje verde oscuro, floración media y muy poca formación de frutos. Presenta alta adaptabilidad (entre 1.800 y 3.200 msnm) y se considera una variedad relativamente tardía (165 días, a 2600 msnm). Es la principal variedad para procesamiento en Colombia, tanto en hojuela como en bastón, por presentar un color de carne crema claro y buena respuesta a la fritura. Su rendimiento en condiciones óptimas de cultivo es superior a las 40 t.ha⁻¹ y su periodo de reposo es de 3 meses (15°C y 75% H.R.). Se cultiva en todas las regiones del país y se caracteriza por presentar valores de materia seca medios (entre 20 y 23%) (Ñústez, 2011).

Pastusa Suprema: Parentales: [(*S. stoloniferum* 230409) x *S. phureja* (CCC- 81)] x Var. Parda Pastusa (*adg*); entidad obtentora: Universidad Nacional de Colombia; tipo de cultivar: mejorado; investigadores obtentores: Carlos Eduardo Ñústez López, Nelson Estrada Ramos, año de liberación: 2002. La planta presenta porte alto, con follaje verde ligeramente claro, moderada floración y alta androesterilidad. Su producción de tubérculo es uniforme, en alta proporción de tamaños de primera (diámetro > 7 cm), se adapta a alturas entre 2500 y 3200 msnm y es relativamente tardía (165 días a 2.600 msnm). El tubérculo presenta valores de materia seca entre 22 y 25% y el periodo de reposo es de 2 meses (15°C y 75% H.R.). Su rendimiento en condiciones óptimas de cultivo es superior a 45 t.ha⁻¹, y presenta aptitud para frito en un periodo corto de poscosecha. Se cultiva en el departamento de Nariño (región donde fue registrada inicialmente) y desde la altura de la Sabana de Bogotá hasta las zonas altas de los departamentos de Cundinamarca y Boyacá.

Esta variedad ha reemplazado en alta proporción a la principal variedad tradicional del país (Parda Pastusa). Tiene excelente calidad culinaria (Ñústez, 2011).

Roja Nariño: Parentales: [87-502-41(*tbr* x *adg*) x *adg* (P. Pastusa)] x [384329.1 x Waycha (*adg*)]; entidad obtentora: Universidad Nacional de Colombia; tipo de cultivar: mejorado; investigadores obtentores: Carlos Eduardo Ñústez López, Nelson Estrada Ramos, año de liberación: 2002. Tiene adaptabilidad entre 2400 y 3200 msnm, es relativamente tardía (165 días, 2.600 msnm) presenta porte de planta alto, con follaje verde intenso y abundante floración. Presenta producción de tubérculo uniforme en alta proporción en categoría de primera (diámetro > 7 cm). Su rendimiento en condiciones óptimas de cultivo superior a 40 t.ha⁻¹, su periodo de reposo es de 2,5 meses (15°C y 75% H.R) y presenta contenidos de materia seca entre 20 y 23%. Se cultiva principalmente en el departamento de Nariño, en menor escala en Antioquia y recientemente en Cundinamarca, con buena aceptación en los mercados mayoristas, tiene excelente calidad culinaria (Ñústez, 2011).

- **Grupo phureja**

Criolla Colombia: Parentales: No conocidos; entidad obtentora: Universidad Nacional de Colombia, Fedepapa, ICA; tipo de cultivar: variedad nativa diploide. Selección clonal de la población de morfotipos de tubérculos redondos amarillos colombianos de *S. phureja*; investigadores obtentores: Carlos Eduardo Ñústez López, Nelson Estrada Ramos, Luis Ernesto Rodríguez Molano, Ramón Pineda, Carlos Carrasco, año de liberación: 2005. Presenta porte medio, con follaje verde ligeramente claro, floración abundante y rara formación de frutos. Presenta adaptación a regiones comprendidas entre 2.400 y 3.200 msnm, presenta producción de tubérculo con distribución de tamaños (diámetros entre 1 y 8 cm). Tiene excelente calidad culinaria. Esta variedad es precoz (120 días a 2.600 msnm), su rendimiento en condiciones óptimas de cultivo es de 15 a 25 t.ha⁻¹. Se cultiva en las diferentes regiones del país en diferentes condiciones de suelo, siendo muy favorables los suelos de textura franca sin mucha materia orgánica (Ñústez, 2011).

Criolla Dorada: (Parentales Criolla Guaneña x Criolla Galeras, entidad Obtenedora Universidad Nacional de Colombia, Investigador Obtenedor Luis Ernesto Rodríguez Molano, Sonia Tinjacá Ruiz, Año de liberación 2015. Planta de porte medio, follaje verde ligeramente claro, floración abundante y rara formación de frutos. Adaptación a regiones comprendidas entre 2.500 y 3.200 msnm. Periodo de crecimiento de 120 - 140 días. Su rendimiento en condiciones óptimas de cultivo es de 19.1 a 27 t.ha⁻¹ (Ñústez, 2011).

Tornilla Blanca: genotipo nativo, se cultiva fundamentalmente en el departamento de Nariño. Los agricultores de la región expresan el rendimiento de la variedad mediante la relación de bultos de siembra: bultos cosechados, considerando así, que la variedad rinde en un rango que va desde 1:10 hasta 1:15, dependiendo de los suelos, el manejo y las condiciones en que se desarrolle el cultivo. La variedad produce tubérculos de diversos tamaños, y se observa que presentan alta susceptibilidad a la pudrición. Presenta adaptación entre 2.500 y 3.200 msnm (Tinjacá y Rodríguez, 2015).

Ratona Morada: genotipo nativo, hábito de crecimiento semierecto, color de flor morada, forma del tubérculo cónico, piel de color rojo morado, color de la carne blanca (Tinjacá y Rodríguez, 2015).

2.2. Producción de semilla de papa

Existe una serie de técnicas de producción que actualmente se utilizan en todo el mundo para multiplicar semilla de papa, las cuales son: producción convencional, micropropagación, hidroponía y aeroponía (Chiipanthega *et al.*, 2012). La mayoría de los agricultores de los países en desarrollo se dedican a la multiplicación de semillas utilizando el método convencional. Si bien todos los métodos tienen limitaciones y desafíos, la técnica convencional tiene las mayores limitaciones en producir semilla de alta calidad para los agricultores de bajos recursos (Buckseth *et al.*, 2016).

2.2.1. Producción convencional

Consiste en propagar una muestra de tubérculos semilla que han demostrado ser libre de patógenos en un sistema llamado multiplicación clonal (Bryan, 1981; Struik y Wiersema, 1999), se practica eficazmente en los Países Bajos, Sudáfrica, Kenia (Crissman y Mc Arthur, 1993) e India (Upreti, 1977). Este el sistema es laborioso, costoso y con lleva tiempo. Además, existe una degeneración de la semilla debido a la acumulación de bacterias, hongos, virus y viroides. Programas modernos de producción de semilla tienden a minimizar el uso de sistemas clonales o usan una combinación de sistemas de multiplicación clónicos y rápidos (Badoni y Chauhan, 2010; El Komy *et al.*, 2010).

2.2.2. Micropropagación

Involucra la multiplicación asexual in vitro sobre nutrientes artificiales bajo un ambiente controlado, que permite una producción rápida, a gran escala, libre de enfermedades (calidad de semilla pre-básica) y es una salida para suplementar el requerimiento alto de semillas de calidad (Naik, 2000).

Buckseth *et al.*, (2016) menciona que el uso de cultivo de tejidos vegetales como método de rutina para la producción de semilla de papa sería costoso, pero puede usarse para eliminar los patógenos, producir el material inicial requerido y luego usar otro sistema eficiente y más barato para producir rápidamente tubérculos de semilla de alta calidad para producción comercial.

En esta técnica los estudios en diferentes cultivos han demostrado que el crecimiento del corte se ve afectado por muchos factores, incluido el genotipo, composición de los medios y condiciones de crecimiento (Shukla *et al.*, 2007; Naresh *et al.*, 2011). Con respecto a los propágulos más comunes utilizados en las primeras etapas de la producción de semilla de papa son los cortes nodales (Danci, 2007; Pruski, 2008). La micropropagación nodal de papa se basa en el principio de sembrar un nudo in vitro en un medio apropiado que induce

el desarrollo de la yema axilar, resultando una nueva plántula. Este tipo de propagación promueve el desarrollo de una estructura morfológica preexistente, la condición nutricional y hormonal del medio rompe la latencia de la yema axilar y promueve su rápido desarrollo (Rishi *et al.*, 2012).

Araque *et al.* (2018) encontraron que para las variedades Parda Pastusa y Diacol Capiro los medios que permiten la obtención de explantes adecuados para multiplicación es MS + 0,02 mg L⁻¹ de ANA (ácido 1-naftalen acético) y para el mantenimiento de cadenas proliferativas es MS sin reguladores. El medio que garantizan el desarrollo de un sistema radical adecuado son los realizados con 0.05 mg L⁻¹ de AIB (ácido indol butírico) aplicado en pulsos y/o medio MS + 0.005 mg L⁻¹ de ANA para Parda Pastusa y, 0.005 mg L⁻¹ de AIB aplicado y/o medio MS + 0.02 mg L⁻¹ de AIB para Diacol Capiro.

La mayor tuberización in vitro se alcanza en MS suplementado con 2.5 mg L⁻¹ de BA y 8 % de sacarosa, registrándose un total de 47 microtubérculos con peso promedio de 143.09 mg. y 6.85 x 5.28 mm de diámetro en Parda Pastusa y un total de 49 microtubérculos con peso promedio de 97 mg. y 5.43 x 4.08 mm de diámetro para Diacol Capiro (Araque *et al.*, 2018).

Donnelly *et al.* (2003) y Diémé *et al.* (2013) sostienen que la microtuberización requiere de una importante provisión de sacarosa y reguladores de crecimiento, siendo más precoz cuando el medio se enriquece con citoquininas tales como BA y CCC y una cantidad de 8 % de sacarosa.

Con respecto a las condiciones de crecimiento la iluminación continua, fotoperiodo y oscuridad afectan notoriamente la inducción de tuberización. Donnelly *et al.* (2003) han demostrado que la exposición a día corto u oscuridad incrementa la eficiencia en la microtuberización.

2.2.3. Hidroponía

Tecnología para cultivar plantas en soluciones de nutrientes. Las plantas se cultivan con sus raíces en la solución de mineral nutriente sola o con el uso de medios artificiales como arena, grava, vermiculita para proporcionar soporte mecánico. Los sustratos deben ser muy porosos para una retención excelente del aire y el agua. Los sistemas hidropónicos se categorizan adicionalmente como cultivo de agua, reflujo y flujo, sistema de goteo, sistema de mecha, técnica de película de nutrientes (Buckseth *et al.*, 2016).

Da Silva *et al.* (2018) evaluaron las diferentes combinaciones de concentraciones de fertilizante nitrogenado con el fin de optimizar el rendimiento de minitubérculos de semilla básica de papa cv. Agata en un sistema hidropónico trifásico y encontraron que para obtener el número máximo de minitubérculos de rendimiento, $9.51 \text{ minis planta}^{-1}$, que corresponden a 67 minis m^{-2} , la concentración ajustada de N posterior a los 21 días fue de 18.4 mmol/l .

2.2.4. Aeroponía

Es una técnica moderna que ofrece el potencial de mejorar la producción y reducir los costos de semilla de papa en comparación con los métodos convencionales o con el hidropónico. La aeroponía, consiste en realizar aspersión a las raíces con una solución nutritiva, cultivar las plantas en el aire, sin el uso de un sustrato y en plena oscuridad (Guzmán, 2004). Este método permite que la planta de papa explore de manera eficiente el espacio vertical del invernadero y el balance humedad-aire para optimizar el desarrollo de raíces, tubérculos y follaje (Otazú, 2010).

Farran y Mingo (2006) reportaron un rendimiento de $800 \text{ minitubérculos m}^{-2}$ a una densidad de plantas de $60 \text{ plantas m}^{-2}$ durante un período de cinco meses con cosechas semanales.

Otazú (2010) obtuvo una producción de más de 100 tuberculillos planta⁻¹ usando materiales relativamente sencillos y baratos en comparación con el método convencional que crea aproximadamente 8 tubérculos hijas solo en el transcurso de un año, mientras que solo 5-6 tubérculos por planta se producen utilizando suelo en el invernadero en 90 días.

Marcillo *et al.* (2015) evaluaron en el departamento de Nariño tres soluciones nutritivas para la producción de minitubérculos de papa en la variedad Diacol Capiro en condiciones de aeroponía. Usaron dos soluciones dinámicas (S1 y S2) y una solución estática (S3); desde el trasplante hasta los 35 días se aplicó una solución inicial, posteriormente se cambió por la solución final. No encontraron diferencias significativas en las variables estudiadas. Los promedios de los números tubérculos por planta oscilaron entre 102,79 y 81.86 y el rendimiento promedio por planta oscilaron entre 758,5 y 636,6 g. Concluyeron que el sistema aeropónico, puede ser una alternativa de producción de semilla de papa de buena calidad fitosanitaria en Nariño.

2.3. Importancia de la semilla

Ranalli *et al.* (1994) menciona que el potencial genético de una variedad o clon se conserva con tubérculos-semilla libres de patógenos, en los que su calidad fitosanitaria repercute en el rendimiento del cultivo, por lo tanto, es importante la producción de semilla de calidad que garantice mejores cosechas y sean responsables de aumentos significativos en los rendimientos; la producción y empleo de semillas de calidad son prioritarios para un país o una región productora.

El material de siembra de calidad juega un papel esencial en la producción sostenible y económica de la papa. Se estima que el costo de la semilla puede representar casi el 40% del costo de producción de papa (Awati *et al.*, 2018).

En Chile, estudios realizados por Andrade *et al.* (2008) encontraron que el rendimiento total fue similar al utilizar semilla certificada y no certificada de papa, pero el rendimiento

comercial fue superior al usar semilla certificada. La diferencia se debió a la presencia de tubérculos deformes, partidos, pequeños, con altos niveles de enfermedades y la alta presencia de mezcla varietal, que se obtuvo al utilizar semilla no certificada. Esta semilla en la mayoría de los casos se encuentra afectada por patógenos, que a medida que el cultivo se desarrolla, afectan el crecimiento de los tubérculos y constituye una fuente de inóculo que seguirá produciendo daño.

La Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria - CORPOICA (2015) en estudios realizados en el municipio de Yacuanquer, departamento de Nariño, encontró que el rendimiento de papa por hectárea presenta valores superiores al utilizar semilla certificada frente a semilla del productor. Evaluaron el rendimiento al utilizar semilla certificada con fertilización recomendada, semilla certificada con fertilización del productor, semilla del productor con fertilización recomendada y semilla del productor con fertilización utilizada por el productor; los valores encontrados corresponden a 40.416 kg ha⁻¹, 35.460 kg ha⁻¹, 26.117 kg ha⁻¹ y 25.287 kg ha⁻¹, respectivamente. Se presentaron diferencias significativas en los rendimientos, no hubo efecto del tipo de fertilización ni de la interacción semilla por fertilización.

2.3.1. Clases de semilla de papa de acuerdo con la normatividad legal

Según la resolución del ICA No. 3168 del 07 de septiembre del 2015, en el numeral 13 menciona que el proceso de producción de semilla certificada de papa se admiten las siguientes categorías:

- Categoría súper élite, generación 1 y 2: son los mini tubérculos o esquejes obtenidos de plantas que se han originado por propagación *in vitro* (plantas madres) procedentes del material inicial. El material inicial para la obtención de la semilla súper-élite proviene de cultivo de meristemos o plántulas *in vitro*, originados de material cuya identidad genética corresponde a la variedad que se va a multiplicar.

- Categoría élite generación 1 y 2: son los tubérculos obtenidos en invernadero o casa de malla por la multiplicación de esquejes o mini tubérculos súper-élite.
- Categoría básica generación 1 y 2: es la que resulta de la multiplicación de semilla élite.
- Categoría registrada generación 1 y 2: es la descendencia de la semilla básica.
- Categoría certificada: es la descendencia de la semilla básica o registrada.

La producción de las diferentes categorías es monitoreada y supervisada por técnicos del Instituto Colombiano Agropecuario para posteriormente emitir los marbetes de registro.

2.3.2. Fases de producción de papa

La resolución del ICA No. 3168 del 07 de septiembre del 2015, establece dos fases de producción de semilla:

- Fase 1: de laboratorio, invernadero o casa de malla para la producción de semilla súper-élite y élite.
- Fase 2: De campo para la producción de semilla básica, registrada y certificada.

2.4. Fenología de la papa

Valvuela *et al.* (2010) estudiaron en cuatro localidades: Copaquira (Cundinamarca), Pupiales (Nariño), Ventaquemada (Boyacá) y la Unión (Antioquia) durante los años 2007, 2008 y 2009 la fenología de la variedad Diacol Capiro y la describiendo de la siguiente forma: en etapa de desarrollo de tallos principales, las primeras hojas comienzan su desarrollo a partir del crecimiento de los tallos principales, los cuales presentan un

crecimiento acelerado. A medida que la parte aérea crece, simultáneamente comienza la diferenciación y el crecimiento de los estolones; en la etapa de formación de tallos secundarios, con el crecimiento longitudinal de los tallos secundarios, se inicia el incremento de foliolos y en la parte subterránea de la planta presentan en promedio 17 tubérculos.

En la etapa de floración, se presenta el mayor número promedio de foliolos (89 por planta) y el desarrollo máximo de área foliar. Igualmente, se presentan las primeras flores abiertas, aunque la floración no es abundante y se incrementa sustancialmente el número de tubérculos (20 tubérculos); en la etapa de formación de bayas, se da inicio al desarrollo de los primeros frutos por el ensanchamiento del ovario de la flor, el área foliar y su capacidad fotosintética comienza a declinar, continua con la formación de estolones e inicia la fase final del llenado del tubérculo, en promedio, se presentan 16 estolones y 20 tubérculos. Finalmente, en la etapa de senescencia, se presenta la maduración de bayas, amarillamiento de las hojas fotosintéticamente activas y secamiento de los tallos principales y en la parte subterránea de la planta termina el llenado del tubérculo (Valvuela *et al.*, 2010).

Flores *et al.*, (2014) en México determinaron con el monitoreo de la fenología en campo de la variedad Alpha, la estimación de la duración y los grados día acumulados (Σ °D) para cada fase fenológica con una fecha de siembra promedio en el cultivo de papa y la temperatura base de 7°C, en donde encontraron que el crecimiento de yemas y raíces se presenta a los 528.51 °D, la emergencia a los 705.09 °D, el desarrollo vegetativo e inicio de formación de tubérculos a los 845.30 °D, el desarrollo de tubérculos a los 1107.29 °D y la madurez fisiológica de la planta y tubérculos a los 1924.98 °D.

Rodríguez *et al.* (2016) estudiaron en Bogotá, bajo condiciones de invernadero la fenología y requerimientos de grados día de las variedades Diacol Capiro, Esmeralda y Pastusa Suprema y encontraron que la emergencia para las tres variedades fue a los 13 dds (136°D), el desarrollo de hojas inició a los 13 dds (136°D), la formación de brotes laterales inició a los 27 dds (283°D), la elongación de tallo principal a los 13 dds (136°D), la formación de

tubérculos a los 70 dds (794°D) y se extendió por 78 días (1677°D), la aparición de botones florales en las inflorescencias inició a los 41 dds (442°D) para Esmeralda y a los 48 dds (522°D) para Diacol Capiro y Pastusa Suprema, el desarrollo de frutos a los 139 dds (1580°D) para Esmeralda, Diacol Capiro y Pastusa Suprema no formaron frutos, y la senescencia o inicio de amarillamiento de las primeras hojas, se presentó a los 111 dds (1258°D) para Diacol Capiro, a los 139 dds (1580°D) para Esmeralda y a los 132 dds (1501°D) para Pastusa Suprema.

2.5. Fisiología de la papa

El crecimiento, desarrollo y rendimiento de la papa depende de la interacción del genotipo y factores agroecológicos. Para que el cultivo tenga una alta productividad requiere un adecuado suministro de recursos del suelo y recursos de la atmósfera, como CO₂, O₂ y RFA. Más del 90% de la materia seca de la planta de papa se sintetiza durante el proceso de fotosíntesis, en el cual, el CO₂, fijado y reducido a carbohidratos, es determinante para la producción de tubérculos y otros órganos. La papa desarrolla un follaje de larga duración, que favorece la intercepción de una alta proporción de RFA (Rodríguez, 2010). Las longitudes de onda utilizadas por el aparato fotosintético son aquellas ubicadas entre los 400 y los 700 nm (RFA) (Azcon y Talón, 2008). En cultivos de papa se ha encontrado que el Índice de Área Foliar crítico (IAF) debe ser cercano a 3, valor requerido para interceptar de 90 a 95% de la RAF (Mackerron y Waister, 1983; Burke, 2003; Wu *et al.*, 2007).

Iniciada la tuberización, la demanda por asimilados se incrementa para el llenado de los tubérculos. La nutrición deficiente, reduce las tasas fotosintéticas. Cuando las plantas de papa están creciendo y al inicio de la tuberización, muchos de los asimilados son utilizados para el desarrollo de órganos vegetativos diferentes a los tubérculos. Siete días después de iniciada la tuberización, únicamente del 5 - 20% de los fotoasimilados son translocados a los tubérculos. Después de la tercera semana de iniciada la tuberización, los fotoasimilados son translocados hacia los tubérculos en forma creciente, y al final del ciclo biológico, el

95% de la materia seca es translocada para llenado de los tubérculos (Gawronska *et al.*, 1984; Burke, 2003; Vreugdenhil *et al.*, 2007).

2.6. Análisis de Crecimiento

Howlader y Hoque (2018) mencionan que los cultivares de papa muestran diversidad en términos de tasas de crecimiento, debido a su composición genética y su interacción con el entorno. El análisis de crecimiento es utilizado para estudiar los factores que afectan a la planta, producción y desarrollo como la acumulación de fotosintatos en el tiempo (Gaitan *et al.*, 2013).

Para su estudio se usan medidas directas, tales como Materia Seca (MS), Área Foliar Total (AF) y Tiempo (T), mientras que las medidas derivadas: Índice de crecimiento relativo (ICR), Índice de Asimilación Neta (IAN), Índice Crecimiento del Cultivo (ICC), Índice de Área Foliar (IAF), entre otras, son calculadas a partir de la relación que se establece entre las medidas directas (Tekalign, y Hammes, 2005).

2.6.1. Área Foliar Total (AF)

El AF es uno de los parámetros más significativos en la evaluación del crecimiento de las plantas; su adecuada determinación durante el ciclo del cultivo permite conocer el crecimiento y el desarrollo de la planta, la eficiencia fotosintética y en consecuencia, la producción total de la planta (Cardona *et al.*, 2009).

Aguilar *et al.* (2006) en México estudiaron el área foliar de los genotipos Alpha y Milagros, en donde encontraron que creció de una forma exponencial hasta los 58 días después de la emergencia (dde). La fase de crecimiento lento duró dos semanas y su final coincidió con el inicio de formación de estolones y de tuberización. La etapa de crecimiento rápido duró entre 35 y 40 d, en la que Alpha superó en 43 % a Milagros a los 58 dde, cuando alcanzaron su máxima AF. A partir del máximo valor, el área foliar de Alpha disminuyó 70% al pasar

de 1.26 m² a los 58 dde, a 0.39 m² a los 73 dde. En forma diferente, en Milagros el área foliar se mantuvo constante en el mismo periodo (0.72 m²), por lo cual ésta tuvo un crecimiento típico sigmoideal, mientras que en la variedad 'Alpha' fue exponencial.

Otros autores en investigaciones realizadas en variedad de papa Spunta comprobaron que el AF alcanzó un valor máximo de 120 dm² alrededor de los 65 días después de la plantación, momento a partir del cual comienza a declinar de forma pronunciada (Jerez y Martin, 2012).

2.6.2. Índice de Área Foliar (IAF)

Es la cantidad de superficie foliar soportada por una determinada superficie de terreno. Se calcula mediante la relación entre el área foliar total y el área de terreno que ocupa la planta (Aguirre *et al.*, 2011).

El incremento de área foliar proporciona un aumento de la capacidad de la planta para aprovechar la energía solar destinada a realizar los procesos fotosintéticos; por consiguiente, el IAF se puede utilizar para evaluar la productividad. Además, puede ser empleado para estimar la evapotranspiración (González y Salamanca, 2008).

Santos *et al.* (2010) al evaluar el índice de área foliar en Pastusa Suprema, Betina, Esmeralda y Diacol en el municipio de Zipaquirá (Cundinamarca), encontraron que para las cuatro variedades el máximo IAF coincidió con las etapas fenológicas de plena floración y tuberización. Después de esta etapa, el IAF comenzó a decrecer hasta alcanzar los valores mínimos en las semanas 16 y 18 después de emergencia. La variedad Pastusa Suprema en forma consistente presentó el mayor IAF durante el ciclo del cultivo (2.875), seguida por la variedad Esmeralda (2.510). Los menores IAF durante el ciclo de cultivo fueron obtenidos por las variedades Betina y Diacol Capiro.

Jerez *et al.* (2016) en Cuba evaluaron igualmente el comportamiento del índice de área foliar de los materiales Call White, Spunta y Santana durante los años 2010 y 2011; los valores promedio en Call White de 5.5 y Spunta de 4.8 en el 2010, fueron superiores respecto a los alcanzados en 2011 (4,2 y 4.3, respectivamente). No obstante, la variedad Santana, mostró valores similares en ambos años de 3.5 para el año 2010 y de 4.2 para el 2011. Los máximos IAF sufrieron desplazamiento en cuanto al momento en que se alcanzó dicho valor, que fue a los 60 días después de la siembra (dds) para Call White y Santana en el año 2010, a diferencia de lo ocurrido en el año 2011 que se había alcanzado el máximo a los 50 dds. En Spunta, el valor máximo se alcanzó después de los 50 dds en ambos años, lo que denota su crecimiento más lento. Los momentos en que se observaron los máximos valores coincidieron con el máximo follaje, es decir, cuando el suelo ha sido cubierto completamente por el mismo. Un IAF elevado, está en correspondencia con el tamaño alcanzado por la superficie foliar, de ahí que en el caso de la variedad Call White, presentó mayor valor con respecto de los otros materiales.

2.6.3. Índice de Asimilación Neta (IAN)

Medida indirecta de la fotosíntesis de la planta completa, representa el incremento en biomasa por unidad de área foliar y de tiempo (Hunt, 1990).

El IAN está más relacionado con la ontogenia de la planta que con el ambiente, pues también decrece al transcurrir el tiempo y al final del ciclo biológico puede ser insuficiente para contribuir sobre el crecimiento de los tubérculos (Moorby, 1970; Collins, 1977; Oliveira *et al.*, 2000; Rajwade *et al.*, 2000).

Santos *et al.* (2010) evaluaron la tasa de asimilación neta en Pastusa Suprema, Betina, Esmeralda y Diacol en el municipio de Zipaquirá (Cundinamarca), presentaron los mayores valores al comienzo del ciclo de cultivo en todas las variedades ($7.0 - 9.0 \text{ mg cm}^{-2} \text{ semana}^{-1}$), debido a que las plantas se encontraban en el inicio de desarrollo de hojas, donde la mayoría de estas hojas se encontraban expuestas a la RAF. Después de la semana 4 la TAN

disminuyó progresivamente. Sin embargo, se observaron fluctuaciones. Las variedades Esmeralda y Betina presentaron un incremento entre la semana 12 y 14 después de emergencia, relacionado con la máxima acumulación de materia seca de hojas y tallos en este intervalo de tiempo, con una eficiencia fotosintética alta. En la semana 16 los valores fueron mínimos para las variedades Diacol Capiro, Betina y Esmeralda. Betina y Esmeralda disminuyeron su TAN drásticamente entre las semanas 14 y 16, ya que en este intervalo de tiempo el incremento de materia seca total y de tubérculos fue el menor del ciclo de cultivo; en esta etapa el follaje inició el proceso de senescencia condición que pudo ocasionar la disminución de la eficiencia fotosintética. Sin embargo, entre la semana 16 y 18 se presentó un nuevo incremento en la TAN a pesar de la senescencia avanzada de las hojas; este comportamiento refleja la mayor acumulación de materia seca en los tubérculos durante el ciclo de cultivo para estas dos variedades.

Jerez *et al.* (2016) encontraron para los genotipos Call White, Spunta y Santana que la tasa de asimilación neta alcanzó el máximo valor ($11-14 \text{ g m}^{-2} \text{ d}^{-1}$) a los 50 días, por lo que a partir de ese momento la partición de asimilados desde la parte aérea hacia los tubérculos resulta un elemento importante, ya que disminuyen de forma general los valores del indicador, con pequeñas variaciones que podrían deberse al ambiente.

2.6.4. Índice de crecimiento relativo (ICR)

Mide la magnitud de la acumulación diaria de materia seca por cada unidad de materia seca previamente formada en la planta. Se define como la ganancia de biomasa por unidad de biomasa y tiempo (Gardner *et al.*, 2003).

El índice decrece con el transcurso del tiempo, ya que el número de células que se están diferenciando en los diferentes tejidos y órganos, es mayor con respecto a la cantidad de células meristemáticas (Mora *et al.*, 2006).

En un ambiente constante, el ICR declina durante el desarrollo; esto se debe principalmente a una proporción creciente de células que no se dividen con relación a las que sí lo hacen. En un ambiente natural, ocurre la misma evolución descendente, pero se puede compensar por condiciones ambientales que se vuelven progresivamente favorables (Milthorpe y Moorby, 1982).

Borrego *et al.*, (2000) en México evaluaron la tasa de crecimiento relativo de las variedades Norteña, Gigant, Mondial, Snowden, Alpha, Atlantic y Russett Burbank, en $\text{g g}^{-1} \text{ día}^{-1}$, encontraron que la mejor respuesta la tuvo el genotipo Norteña con $0.35 \text{ g g}^{-1} \text{ día}^{-1}$ en el muestreo dos y con un incremento considerable del quinto al sexto muestreo ($0.53 \text{ g g}^{-1} \text{ día}^{-1}$).

Santos *et al.* (2010) evaluaron la tasa de crecimiento relativo en Pastusa Suprema, Betina, Esmeralda y Diacol en el municipio de Zipaquirá (Cundinamarca), encontraron que todas las variedades presentaron los valores más altos durante la semana 4 después de emergencia ($0.8 - 1.0 \text{ g g}^{-1} \text{ semana}^{-1}$), al iniciar la formación de brotes laterales; esto significa que en la etapa inicial de desarrollo, el cultivo es más eficiente en la elaboración de nuevo material. Las variedades presentaron comportamiento similar durante el ciclo, con valores altos al inicio y que fueron disminuyendo progresivamente hasta alcanzar los menores valores en la semana 16 después de emergencia para las variedades Esmeralda, Diacol Capiro y Betina, y en la semana 18 para la variedad Pastusa Suprema, debido a que durante estas semanas se inició la etapa de senescencia, presentando una disminución en la materia seca total de la planta.

2.6.5. Índice Crecimiento del Cultivo (ICC)

Es la relación entre la ganancia de peso seco y área de suelo ocupada por unidad de tiempo dado (Fageria *et al.*, 2006).

El índice de crecimiento del cultivo (ICC) aumenta a partir de la emergencia para disminuir después de alcanzar el máximo valor, debido probablemente al autosombreo de las hojas, más que a otros factores (Da Silva, 2000). Los máximos valores de este índice dependen de la eficiencia fotosintética y del tamaño y duración del área foliar; casi al finalizar el ciclo biológico, pueden ser negativos porque el nuevo crecimiento es inferior a la senescencia de las hojas inferiores de la planta (Milthorpe y Moorby, 1982).

Santos *et al.* (2010) evaluaron la TCC en Pastusa Suprema, Betina, Esmeralda y Diacol en el municipio de Zipaquirá (Cundinamarca), encontraron que presentó fluctuaciones en las variedades Betina y Esmeralda, mostrando tres puntos de incremento durante el ciclo de cultivo, en las semanas 10, 14 y 18 para la variedad Esmeralda y en las semanas 14 y 18 para la variedad Betina, siendo este último (semana 18 después de emergencia) el momento en el que se observó el valor más alto de TCC. En el caso de la variedad Diacol Capiro, el valor máximo de TCC se presentó en la semana 14 con $170,5 \text{ g m}^{-2} \text{ semana}^{-1}$; sin embargo, fue inferior a los valores máximos obtenidos por las otras variedades evaluadas, que fueron superiores a los $250 \text{ g m}^{-2} \text{ semana}^{-1}$. La variedad Pastusa Suprema presentó la máxima TCC en la semana 18 con $305,2 \text{ g m}^{-2} \text{ semana}^{-1}$, superando los valores alcanzados por las otras variedades.

Silva *et al.* (2018) evaluaron el índice de crecimiento del cultivo en la variedad Criolla Guaneña bajo cuatro densidades de siembra (50.000, 41.667, 33.333, 31.250 plantas ha^{-1}) y tres niveles de potasio (300, 250, 200 kg de $\text{K}_2\text{O ha}^{-1}$) en el Altiplano de Pasto, Nariño. Los autores encontraron que en todos los tratamientos, el ICC aumenta a $40 \text{ g m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$ entre los 90 y 100 dds, que corresponde a la época de mayor acumulación de MS, donde se requiere una mayor demanda de fotoasimilados, debido al llenado de tubérculos y luego decreció hasta el final del ciclo después de los 120 dds.

2.6.6. Materia Seca

Parámetro para caracterizar el crecimiento, porque usualmente tiene un gran significado económico. La producción de asimilados por las hojas (fuente) y el punto hasta el cual pueden ser acumulados por el vertedero que representan los órganos que son cosechados, influyen significativamente en el rendimiento del cultivo (Tekalign y Hammes, 2005). El estudio del patrón de distribución de materia seca entre los órganos de la planta, es importante para la evaluación de la tasa de crecimiento, la productividad y el nivel de rendimiento de la papa (Nganga, 1982).

Ñústez *et al.*, (2009) evaluaron la acumulación y distribución de materia seca en Pastusa Suprema, Diacol Capiro, Esmeralda y Betina en el municipio de Zipaquirá, (Cundinamarca); encontraron que las variedades presentaron un comportamiento similar hasta las 14 semanas después de la emergencia (sde), las curvas de acumulación de materia seca total de Betina, Esmeralda y Diacol Capiro entre las 14 y 16 sde, estuvieron por debajo de Pastusa Suprema, lo cual demuestra que esta última presenta un mayor desarrollo de follaje y acumulación de materia seca, frente a las otras variedades evaluadas. Diacol Capiro detuvo su crecimiento a las 14 sde y, a las 18 sde presentó la menor acumulación de materia seca, con respecto a las otras variedades, con 491,7 g por planta. Situación diferente se observó en las variedades Betina y Esmeralda, las cuales entre las 16 y 18 sde, presentaron un incremento en la acumulación de materia seca total, superando el valor alcanzado por Pastusa Suprema, debido a la relación existente entre la materia seca total y el crecimiento de tubérculos, que para Betina y Esmeralda, fue muy alto en ese intervalo de tiempo. Los valores máximos presentados por las variedades evaluadas estuvieron en un rango de 500 a 800 g por planta.

2.6.7. Índice de Cosecha (IC)

Es la proporción de materia seca asignada a la parte cosechable (tubérculos) en relación a la materia seca total producida por la planta (excepto la materia seca asignada a la raíz). Es decir, constituye un índice de la productividad de los cultivares (Hay y Walker, 1989).

Seminario *et al.*, (2018) estudiaron el índice de cosecha de 18 cultivares precoces de papa amarilla del grupo phureja y determinaron que ocho cultivares Blanca Amarilla, Limeña, Huachuma, Llanqueja, Amarilla Redonda, Piña Amarilla, Blanca, Oque-2 y Amarilla Mahuay presentaron valores $\geq 60\%$, que podrían seleccionarse como los más productivos. En el grupo Phureja, existen cultivares que se destacan por esta característica. Por ejemplo, Saldaña *et al.* (2015) en la investigación de distribución y asignación de biomasa en variedades de papa criolla (*Solanum phureja* Juz. et Buk) encontraron valores de IC de 50 a 83% y Seminario *et al.*, (2017) en diecisiete cultivares de papa del grupo phureja encontraron IC de 53% ('Limeña huachuma') a 77% ('Montañera-2'), con promedio de 65%.

Silva *et al.* (2018) estudiaron el índice de cosecha en la variedad Criolla Guaneña bajo cuatro densidades de siembra (50.000, 41.667, 33.333, 31.250 plantas ha⁻¹) y tres niveles de potasio (300, 250, 200 kg de K₂O ha⁻¹) en el Altiplano de Pasto, Nariño; los valores oscilaron entre 0,55 para la densidad de 33.333 plantas ha⁻¹ y 200 kg K₂O ha⁻¹ y de 0,7 para la densidad de 33.333 plantas ha⁻¹ y 250 kg K₂O ha⁻¹ siendo estadísticamente diferentes (P<0,05).

2.7. Rendimiento de la papa

Barry *et al.* (1990) y Arsenault *et al.* (2001) afirman que el rendimiento del cultivo de papa está influenciado por una serie de factores tales como el nitrógeno, cultivar, espaciamiento de las semillas, condiciones climáticas y la ubicación geográfica. De igual manera los autores mencionan que a medida que aumenta la densidad de las plantas, existe disminución en el tamaño y rendimiento de la planta, debido a la competencia entre agua, luz y nutrientes. Por lo tanto, es esencial entender cómo las plantas individuales interactúan entre sí y el medio ambiente para llegar a densidades ideales que permitan optimizar los rendimientos (Masarirambi *et al.*, 2012).

Por otro lado, Pereira *et al.* (2008) definen el rendimiento como una respuesta a los factores meteorológicos que influyen directamente sobre el mismo y que regulan los procesos de transpiración, fotosíntesis y respiración, de tal manera que definen el crecimiento y desarrollo del cultivo.

III. METODOLOGÍA

3.1. Localización

El presente trabajo se realizó en los semestres B del 2017, A y B del 2018, en el Centro de Investigación Obonuco de la Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria – AGROSAVIA, ubicado en el municipio Pasto, departamento de Nariño, a una altura de 2.957 msnm, 01°11'28.3' latitud norte y 77°19'08.8'' longitud oeste.

3.2. Condiciones climáticas

Las variables climáticas fueron registradas durante la investigación en una estación meteorológica portable marca Davis Vantage Pro-2, ubicada a 600 metros del área experimental. En el año 2017 se registró una temperatura mínima de 3.4°C y máxima de 20.2°C, una humedad relativa media de 83%, precipitación total acumulada de 919 mm y radiación solar promedio de 145 w.m⁻²; y en el año 2018 se presentó una temperatura mínima de 5.9°C y máxima de 21.1°C, una humedad relativa media de 82 %, precipitación total acumulada de 662 mm y radiación solar promedio de 133 w.m⁻².

3.3. Geología, geomorfología y clasificación taxonómica del suelo del área experimental

Los suelos en donde se llevó a cabo la investigación corresponden a depósitos volcánicos, originados por la actividad del volcán Galeras y los volcanes circundantes, catalogados como inactivos. Los depósitos corresponden a lavas y flujos piroclásticos cubiertos y/o intercalados con cenizas. Presenta relieve convexo-concavo de poca extensión, con pendientes ligeramente inclinadas a inclinadas. Los suelos se clasifican taxonómicamente como Typic Haplustults, familia franca fina, haloisítica, isomésica, desarrollados a partir de

arcillas, moderadamente profundos, moderadamente bien drenados, con nivel freático fluctuante y texturas moderadamente finas (IGAC, 2013).

3.4. Material Vegetal

El grupo de trabajo del proyecto “Mejoramiento tecnológico y productivo del cultivo de papa para el departamento de Nariño” obtuvo el material vegetal utilizado para la presente investigación a partir de plántulas in vitro previamente valoradas ante virus, de las cuales, posteriormente, obtuvieron semilla pre básica (mini tubérculos) bajo condiciones controladas en invernaderos del CI. Tibaitatá – AGROSAVIA.

Se utilizó semilla pre básica de 10 genotipos de papa, correspondientes a:

- Seis genotipos de *Solanum tuberosum* L. spp *andigena* (Grupo andigena): Ica única, Pastusa Superior, Parda Pastusa, Diacol Capiro, Pastusa Suprema y Roja Nariño.
- Cuatro genotipos de *Solanum phureja* (Grupo phureja): Ratona Morada, Tornilla Blanca, Criolla Colombia y Criolla Dorada.

El trabajo se llevó a cabo en dos ciclos:

- Ciclo 1. Evaluación de semilla básica de *Solanum tuberosum* L. spp *andigena* y *Solanum phureja* (periodo B - 2017)
- Ciclo 2. Producción de semilla registrada de *Solanum tuberosum* L. spp *andigena* y *Solanum phureja*. (periodos A y B - 2018)

3.5. Diseño experimental

3.5.1. Ciclo 1. Evaluación de semilla básica de *Solanum tuberosum* L. spp *andigena* y *Solanum phureja*

Las parcelas experimentales del grupo andigena y del grupo phureja se establecieron por separado bajo un diseño de franjas divididas, con tres bloques. En la figura 1, se muestra la aleatorización en las franjas horizontales de las densidades de siembra y en las verticales de los genotipos del grupo andigena (Figura 1). Los dos factores A y B, correspondieron a las densidades de siembra y genotipos, respectivamente con 3 y 6 niveles para el grupo andigena y 3 y 4 niveles para el grupo phureja (Tabla 1 y 2). A continuación, se nombra los factores por cada grupo:

Tabla 1. Factor A. Densidades de siembra en semilla básica, discriminadas por distancias de siembra y grupo.

Grupo	Densidades de siembra $pl.ha^{-1}$ (distancias de siembra m)		
	D1	D2	D3
Andigena	44.444 (0,25 x 0,9)	40.000 (0,25 x 1,0)	36.364 (0,25 x 1,1)
Phureja	50.000 (0,25 x 0,8)	44.444 (0,25 x 0,9)	40.000 (0,25 x 1,0)

Tabla 2. Factor B. Genotipos, discriminado por grupo en semilla básica.

Grupo	Genotipos
Andigena	Pastusa Suprema (PSupr)
	Pastusa Superior (PSup)
	Roja Nariño (RN)
	Ica Única (IU)
	Parda Pastusa (PP)
	Diacol Capiro (DC)
Phureja	Criolla Dorada (CD)
	Criolla Colombia (CC)
	Tornilla Blanca (TB)
	Ratona Morada (RM)

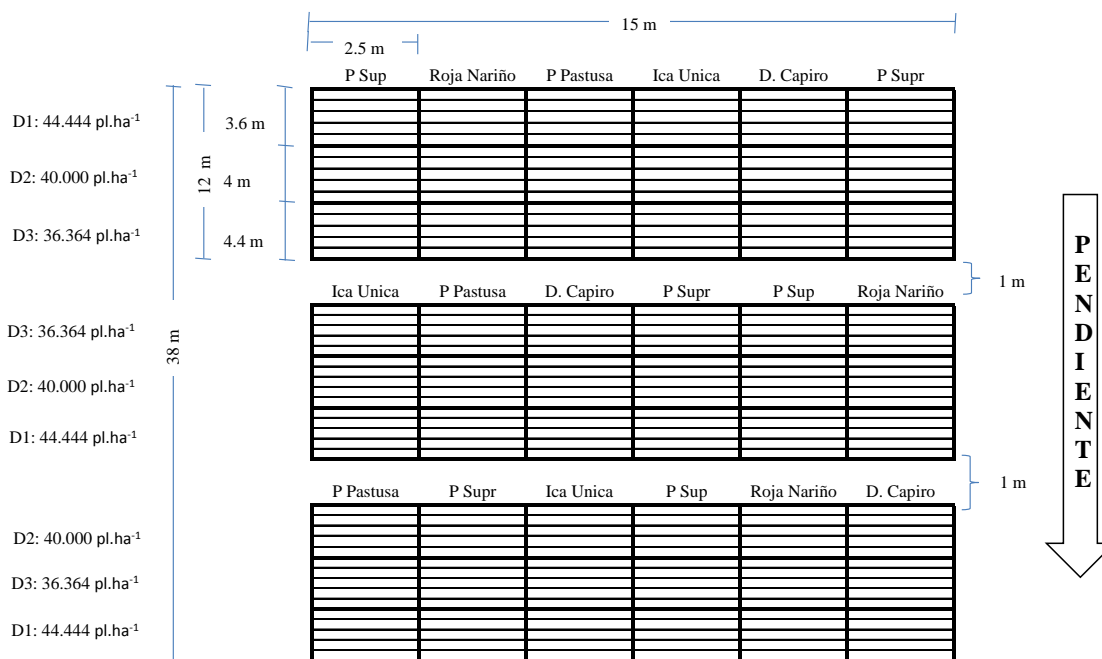


Figura 1. Diagrama del diseño experimental franjas divididas.

En donde, D es el factor A, franjas horizontales densidades de siembra (tres niveles: D1= 44.444 pl.ha⁻¹, D2= 40.000 pl.ha⁻¹ y D3= 36.364 pl.ha⁻¹) y el factor B, franjas verticales los genotipos (6 niveles: Pastusa Superior, Roja Nariño, Parda Pastusa, Ica Unica, Diacol Capiro y Pastusa Suprema) del grupo andigena categoría semilla básica (Ciclo 1).

El experimento se conformó por tres bloques, cada uno de un área de 180 m² (15 m de largo por 12 m de ancho) para el grupo Andigena y de 133.92 m² (12,4 m de largo por 10,8 m de ancho) para el grupo phureja, separados por una calle de 1 m.

La unidad experimental se conformó por cuatro surcos en los cuales se distribuyeron 40 semillas pre básicas según las densidades de siembra debidamente aleatorizadas, tanto para el grupo andigena como para el grupo phureja. El área útil correspondió a los dos surcos centrales descartando las plantas extremas.

3.5.2. Ciclo 2. Evaluación de semilla registrada de *Solanum tuberosum* L. spp *andigena* y *Solanum phureja*.

Al igual que en el ciclo 1. se establecieron por separado las parcelas experimentales para el grupo andigena y el grupo phureja bajo el mismo diseño y teniendo en cuenta los mismos parámetros. Los factores A y B correspondieron a densidades de siembra y genotipos, con 3 y 5 niveles para el grupo andigena y 3 y 4 niveles para el grupo phureja (Tabla 3 y 4). A continuación se nombra los factores por cada grupo:

Tabla 3. Densidades de siembra en semilla registrada, discriminadas por distancias de siembra y grupo.

Grupo	Densidades de siembra pl.ha ⁻¹ (distancias de siembra m)		
	D1	D2	D3
Andigena	33.333 (0,30 x 1,0)	27.777 (0,30 x 1,2)	23.809 (0,30 x 1,14)
Phureja	37.037 (0,30 x 0,9)	33.333 (0,30 x 1,0)	30.303 (0,30 x 1,0)

Tabla 4. Factor B. Genotipos, discriminado por grupo en semilla registrada.

Grupo	Genotipos
A n d i g e n a	Pastusa Suprema (PSupr)
	Pastusa Superior (PSup)
	Ica Única (IU)
	Parda Pastusa (PP)
	Diacol Capiro (DC)
P h u r e j a	Criolla Dorada (CD)
	Criolla Colombia (CC)
	Tornilla Blanca (TB)
	Ratona Morada (RM)

El ciclo 2, también se conformó por tres bloques, separados por 1 m, con un área de 864 m² (40 m de largo por 21.6 m de ancho) para el grupo andigena y un área de 475.2 m² (26,4 m de largo por 18 m de ancho) para el grupo phureja.

Para este caso la unidad experimental estuvo conformada por seis surcos en los cuales se distribuyeron 120 semillas básicas según las densidades de siembra debidamente aleatorizadas, tanto para el grupo andigena como para el grupo phureja. El área útil correspondió a los dos surcos centrales descartando las plantas extremas.

3.6. Manejo Agronómico

3.6.1. Preparación y adecuación del área experimental

Previo al montaje de los experimentos se tomaron sub muestras de suelo a una profundidad de 30 cm, en forma de zig-zag, separados por 7 m, para luego homogenizar el suelo y sacar una muestra de 500 g para ser analizada químicamente y otra porción de 200 g para análisis microbiológico, especialmente de Spongospora. Las muestras se enviaron al laboratorio de suelos CI. Tibaitata – AGROSAVIA para su análisis.

Posteriormente, para el control de arvenses se realizó control químico con la aplicación de 5 L. ha⁻¹ de glifosato, transcurrido un mes se realizó la preparación del terreno con rastra de tiro y arado de cincel, en la última pasada se incorporaron 14 bultos de cal dolomita. Veinte días después según el arreglo espacial planteado se trazó con estacas la distancia de los surcos y se realizó el surcado.

Las semillas de las categorías pre básica y básica fueron sembradas en un estado apropiado de brotación (aproximadamente tres milímetros de longitud de brote), se aplicó Carbendazim (50 cc), Kasugamicina (50cc) y Flutolanil (150cc) por bomba de 20 L para el ataque de plagas y enfermedades y posteriormente se realizó el tapado.

Para el ciclo 1. se sembraron 2.160 semillas pre básicas, de un tamaño de 2.43 x 2.12 cm de diámetro ecuatorial y un peso promedio de 7.57 g del grupo andigena y 1.440 semillas pre básicas, de un tamaño 2.46 x 2.35 cm de diámetro ecuatorial y un peso promedio de 15 g del grupo phureja (360 de cada genotipo) para un total de 3.600 semillas pre básicas; y para

el ciclo 2. se sembraron 5.400 semillas básicas del grupo andigena y 4.320 semillas básicas del grupo phureja, procedente de la cosecha del ciclo 1. de un tamaño entre 35 mm y 90 mm (1.080 de cada genotipo) para un total de 10.800 semillas básicas.

3.6.2. Fertilización

El análisis de suelos presentó contenidos altos de materia orgánica, potasio y hierro, contenidos medios de calcio intercambiable, manganeso disponible y cobre disponible, contenidos bajos de fosforo disponible, azufre disponible, magnesio intercambiable, sodio intercambiable, zinc disponible, y boro disponible, baja capacidad de intercambio catiónico y pH moderadamente ácido (Tabla 1).

Tabla 5. Resultados análisis de suelo.

Determinación analítica	Unidad	Valor	Interpretación
pH	Unidad de pH	5.7	Moderadamente ácido
Conductividad eléctrica	dS/m	0.18	No salino
Materia orgánica (MO)	g/100g	16.85	Alto
Fosforo disponible (P) Bray II	mg/kg	18.73	Bajo
Azufre disponible (S)	mg/kg	1.16	Bajo
Calcio intercambiable (Ca)	cmol ₍₊₎ /kg	4.87	Medio
Magnesio intercambiable (Mg)	cmol ₍₊₎ /kg	1.13	Bajo
Potasio intercambiable (K)	cmol ₍₊₎ /kg	0.55	Alto
Sodio intercambiable (Na)	cmol ₍₊₎ /kg	< 0.14	Bajo
Capacidad de intercambio catiónico (CICE)	cmol ₍₊₎ /kg	6.69	Bajo
Hierro disponible (Fe) Olsen	mg/kg	137.11	Alto
Manganeso disponible (Mn) Olsen	mg/kg	5	Medio
Zinc disponible (Zn) Olsen	mg/kg	1.39	Bajo
Cobre disponible (Cu) Olsen	mg/kg	1.16	Medio
Boro disponible (B)	mg/kg	0.19	Bajo
Saturación de Calcio	%	73	Alto
Saturación de Magnesio	%	17	Medio
Saturación de Potasio	%	8	Alto
Saturación de Sodio	%	2	Normal
Relación Ca/Mg		4.3	
Relación (Ca+Mg)/K		10.9	
Relación Mg/K		2.1	
Relación Ca/B		5100	

Fuente: Resultados análisis de suelos laboratorio AGROSAVIA

Según los resultados del análisis se presenta el plan de fertilización por ciclo y por grupo de la siguiente manera:

- **Fertilización ciclo 1. Evaluación de semilla básica de *Solanum tuberosum* L. spp *andigena* y *Solanum phureja*.**

Grupo Andigena. La fertilización se fraccionó en dos aplicaciones, la primera se realizó a los 42 días después de la siembra, con una mezcla de 80 kg de Rafos (12-24-12), 10 kg de

Nitromag (21-0-0 +11(CaO) + 7,5 (MgO) y 10 de Agrimins (8-5-0-6) y se aplicó en forma de corona 45 gramos por planta. Después de 32 días se llevó a cabo la segunda fertilización con 65 kg de 10-20-10 aplicando igualmente en forma de corona 30 g por planta.

Grupo phureja. La fertilización se realizó con una mezcla de 170 kg de Rafos (12-24-12), 34 kg de MF Soil (21-0-0 + CaO + 7.5 MgO) y 34 de Nitromag (8-5-0-6) a los 42 días después de la siembra, en forma de corona 30 g por planta.

- **Fertilización ciclo 2. Evaluación de semilla registrada de *Solanum tuberosum* L. spp *andigena* y *Solanum phureja*.**

Grupo Andigena. Como en el ciclo 1, la fertilización se fraccionó en dos aplicaciones, la primera se llevó a cabo a los 40 días después de la siembra, con una mezcla de 150 kg de Rafos (12-24-12), 25 kg de Nitromag (21-0-0 +11(CaO) + 7,5 (MgO) y 25 de Agrimins (8-5-0-6) y se aplicó en forma de corona 30 gramos por planta. Después de 28 días se llevó a cabo la segunda fertilización con 130 kg de 10-20-10 aplicando igualmente en forma de corona 20 g por planta.

Grupo phureja. La fertilización se realizó con una mezcla de 100 Kg Rafos (12-24-12), 20 Kg de Agrimins (8-5-0-6), y 20 Kg Nitromag (8-5-0-6) a los 40 días después de la siembra, en forma de corona 25 g por planta.

3.6.3. Riego

El riego se aplicó con base en los datos suministrados por las precipitaciones que reportaba la estación meteorológica. En los dos ciclos se realizaron dos aplicaciones de riego por aspersión, con una intensidad horaria de 48 horas.

3.6.4. Aporque

El aporque para los genotipos del grupo andigena se realizó a los 70 días después de la siembra y para los genotipos del grupo phureja se realizó a los 60 días después de la siembra.

3.6.5. Manejo Sanitario

El manejo sanitario de los dos ciclos se realizó de acuerdo con los resultados obtenidos en las evaluaciones de monitoreo semanales. Al momento de la emergencia de las plantas, para manejo de plagas de suelo se realizó una aplicación de insecticidas a base de tiametoxan + lambdacihalotrina y profenofos.

Para el manejo de plagas foliares se realizaron monitoreos para determinar el insecticida a aplicar y se realizó una rotación a base de cipermetrina, dimetoato, piriproxifen, abacmetina y thiocyclam hidrogenoxalato teniendo en cuenta el mecanismo y modo de acción.

Para el manejo de enfermedades foliares se realizó una rotación de clorotalonil, mancozeb + cimoxanil como preventivos; cuando se presentaron síntomas de goma (*Phytophthora infestans*) se controló con productos a base de propamocarb, fluopicolide + propineb, manzoceb + metalaxil y dimetomorph.

Para los problemas foliares asociados con alternaría (*Alternaria solani*) y cenicilla (*Erysiphe cichoracearum*) se realizaron aplicaciones de fungicidas pertenecientes al grupo de los triazoles (flutriafol) y fueron rotados con benzimidazoles (carbendazim).

Dos días antes de aporque se realizó una aplicación con insecticidas a base de fipronil y clorpirifos.

3.7. Variables evaluadas

3.7.1. Fenología y requerimientos térmicos

En el ciclo 1. se seleccionaron 12 plantas de cada genotipo por bloque, para un total de 36 plantas que fueron evaluadas periódicamente con base en los estados fenológicos descritos en la escala BBCH para papa (Hack *et al.*, 1993), modificada para este estudio (Tabla 2), se registró la fecha cuando el 51% de las plantas alcanzaron cada estado en particular.

Posteriormente, se definieron los requerimientos térmicos (GD) de cada una de las etapas fenológicas, mediante el registro de los datos diarios de temperatura máxima y mínima que reportó la estación meteorológica portable de AGROSAVIA durante el ciclo del cultivo de evaluación semilla básica y registrada.

Para el cálculo de los gados día (GD) se siguió la metodología empleada por Miller *et al.* (2001) mediante la siguiente ecuación:

$$GD = \frac{(T_{max.} + T_{min.})}{2} - T_b$$

Donde, T_{min} y T_{max} son las temperaturas mínima y máxima diarias del aire, respectivamente, y T_b temperatura base o umbral inferior para el inicio del crecimiento de la papa, el cual se estableció según Cao y Tibbitts (1995) en 6°C.

Tabla 6. Escala BBCH para papa modificada para este estudio.

Estadio	Descripción
Emergencia	Los tallos traspasan la superficie del suelo
Desarrollo de las hojas	3a hoja del tallo principal, desplegada (> 4 cm)
	10a hoja del tallo principal, desplegada (> 4 cm)
	Primer brote basal lateral, visible (> 5 cm)
Formación de brotes laterales	2 o brote basal lateral, visible (> 5 cm)
	3er brote basal lateral, visible (> 5 cm)
Desarrollo de organos vegetativos cosechables	Comienzo de la formación de los tubérculos: las puntas del primer estolón, hinchadas dos veces el diámetro del resto del estolón
	Piel, madura: (la piel, en el extremo apical del tubérculo, no se quita con el pulgar); 95 % de los tubérculos.
Aparición del órgano floral	Botones florales de la 1a inflorescencia visibles (1 - 2 mm) (tallo principal)
Floración	Plena floración: 50 % de las flores abiertas
	Fin de la floración
Formación del fruto	Primeras bayas visibles
Senescencia	50 de las hojas, de color marrón

Fuente: Hack *et al.*, 1993

3.7.2. Crecimiento

En el ciclo 2. en la evaluación de crecimiento se empleó el método de muestreo destructivo, tomando cada quince días nueve plantas al azar de cada genotipo del grupo andigena y del grupo phureja hasta finalizar el ciclo del cultivo.

Las variables a evaluadas fueron:

- **Altura de plantas (AP).**

Con una regla se midió en centímetros, desde la base del tallo hasta el ápice caulinar principal de la planta.

- **Área foliar (AF).**

Se obtuvo mediante el método destructivo del sacabocado, en donde se tomaron diez hojas de la planta, se extrajo diez discos de tejido vegetal con un sacabocado de área de 153.94 mm², para luego, mediante su materia seca y la del total de las hojas se estimó el AF (Cardona *et al.*, 2009) así:

$$AF = \frac{\text{Materia seca de las hojas} \times \text{Área de los discos}}{\text{Materia seca de los discos}}$$

- **Índice de Área Foliar (IAF).**

Se calculó mediante la ecuación propuesta por Campostrini y Yamanisi (2001), que corresponde a:

$$IAF = \frac{AF}{AS}$$

Donde, IAF = Índice de área foliar, AF = área foliar, AS = área de suelo.

- **Intensidad de asimilación neta (IAN).**

Se calculó mediante la ecuación propuesta por Hunt *et al.* (2002), que corresponde a:

$$IAN (g \times dm^{-2} \times GD^{-1}) = \frac{(W_2 - W_1)}{(GD_2 - GD_1)} \times \frac{(\ln AF_2 - \ln AF_1)}{(AF_2 - AF_1)}$$

Dónde: ln = logaritmo natural, AF₁, AF₂ = área foliar en dm² al inicio y final del intervalo de tiempo, W₁, W₂ = peso seco en g al inicio y final del intervalo de tiempo. GD₁, GD₂ = Grados día acumulados.

- **Índice de crecimiento relativo (ICR).**

Se calculó mediante la ecuación propuesta por Gardner *et al.* (2003), que corresponde a:

$$ICR (g \times g^{-1} \times GD^{-1}) = \frac{(\ln W_2 - \ln W_1)}{(GD_2 - GD_1)}$$

Dónde: ln= logaritmo natural, W₂= Peso en g final del periodo evaluado, W₁=Peso inicial del periodo evaluado, T₂= Grados día final, T₁= Grados día inicial.

- **Índice de crecimiento del cultivo (ICC).**

Se calculará mediante la ecuación propuesta por Fageria, *et al.* (2006), que corresponde a:

$$ICC (g \times dm^{-2} \times GD^{-1}) = \frac{W_2 - W_1}{GD_2 - GD_1} \times \frac{1}{AS}$$

Donde W₂ = Peso final en g del periodo evaluado, W₁ =Peso inicial en g del periodo evaluado, T₂ = Grados día final, T₁ = Grados día inicial y AS= Área de suelo.

- **Materia seca total y su distribución en la planta.**

Las plantas en fresco fueron separadas en raíces, estolones, tubérculos, tallos, hojas, flores y frutos, se empacaron en bolsas de papel debidamente rotuladas y se sometieron a una temperatura de 70°C por 72 horas hasta obtener peso constante en un horno UN 750 plus

marca Memmert. Posteriormente, las muestras fueron pesadas en una balanza analítica d = 0.001g marca Vibra, para así determinar la materia seca de cada órgano y del total de la planta, según la metodología propuesta por Silva *et al.* (2018).

Con la información de las variables área foliar y materia seca se calcularon los siguientes índices de crecimiento:

- **Índice de cosecha (IC).**

El índice de cosecha o coeficiente de partición se calculó mediante la fórmula propuesta por Gardner *et al.* (1985), que corresponde a:

$$IC = \frac{WTu}{WP} \times 100$$

Donde WTu=Peso en g de los tubérculos, WP = Peso en g de la planta

3.7.3. Componentes de Rendimiento

Tanto en el ciclo 1. como en el ciclo 2., cuando cada genotipo llegó a su madurez de cosecha, se cosecharon los dos surcos centrales de la parcela útil y se tomaron 10 plantas/tratamiento/repetición y se determinó:

- **Número de tallos por metro cuadrado (NTam²).**

Se evaluó mediante el conteo directo y teniendo en cuenta el grosor de los tallos se contó el número de tallos principales por planta y se determinó por metro cuadrado de acuerdo a la densidad de siembra.

- **Número de tubérculos por planta (NTuP).**

Se evaluó mediante conteo directo el número total de tubérculos producidos por planta.

- **Peso promedio de tubérculo (PCTu).**

De los tubérculos producidos por planta, se tomaron al azar 20 tubérculos y se pesó cada uno en una balanza analítica.

- **Rendimiento por planta (RtoP).**

Los tubérculos producidos por planta fueron pesados con una balanza en kilogramos.

- **Clasificación de tubérculos (%).**

Los tubérculos fueron clasificados por tamaño de acuerdo a resolución del ICA No. 3168 del 07 de septiembre del 2015 (ICA, 2015) para *Solanum tuberosum* L. spp. *andigena* en tubérculos muy grande (TuMG) > 90 mm, tubérculos semilla (TuSem) 31–90 mm y tubérculos muy pequeño (TuMP) < 30 mm y para *Solanum phureja* en tubérculos muy grandes (TuMG) >50 mm, tubérculos semilla (TuSem) 30 – 49 mm y tubérculos pequeños (TuP3a) < 29 (mm).

Para los genotipos nativos se tomó una muestra de 50 tubérculos y por peso se clasificaron en cuatro tamaños. Para Ratona Morada se clasificó en muy grande los tubérculos que pesaron > 121 g, semilla entre 19 – 120 g y pequeña < 20 g y para Tornilla Blanca muy grande > 231 g, semilla 31- 230 g y pequeño < 30 g.

Se realizó el conteo de los tubérculos producidos por cada tamaño y se expresó en porcentaje.

3.8 Análisis estadístico.

3.7.4. Fenología y requerimientos térmicos.

Con el resultado de las observaciones periódicas de los cambios de estado de las plantas y el cálculo del tiempo térmico requerido para alcanzar ese estado, se realizó una descripción de cada etapa fenológica analizando sus requerimientos de temperatura.

3.7.5. Crecimiento.

El análisis de crecimiento se realizó mediante el análisis funcional que corresponde a la expresión matemática del comportamiento de la variable analizada en un momento determinado (Hunt, 1982); este procedimiento se realizó usando el software Curve Expert.

3.7.6. Componentes de rendimiento.

Las variables se sometieron a un análisis de varianza con el fin de analizar el efecto de la densidad de siembra, genotipo e interacción densidad por genotipo, aquellas variables que mostraron diferencias estadísticas se sometieron a prueba de comparación de promedios de Tukey-Kramer ($p < 0.05$). Se utilizó el paquete estadístico SAS versión 9.4 (SAS Institute Inc., Cary., NC, USA). El modelo estadístico correspondió a un diseño de franjas divididas, así:

$$Y_{ijk} = \mu + R_i + A_j + (R * A)_{ij} + B_k + (R * B)_{ik} + (A * B)_{jk} + (R * A * B)_{ijk}$$

Y_{ijk} = Valor observado en la unidad experimental ijk

μ = Media general

R_i = Efecto de la repetición i

A_j = Efecto del factor A asociado a la franja horizontal j

$(R * A)_{ij}$ = Error **a** entre franjas horizontales j

B_k = Efecto del factor B asociado a las franjas verticales k

$(R*B)_{ik}$ = Error **b** entre franjas verticales k

$(A*B)_{jk}$ = Efecto de la interacción entre factores de franjas horizontales y verticales

$(R * A * B)_{ijk}$ = Error **c**

3.7.7. Análisis de sendero.

Con las variables número principales por metro cuadrado (NTam⁻²), número de tubérculos por planta (NTuP), número de tubérculos muy grandes (TuMG) y número de tubérculos pequeños (NTuP), se realizó un análisis de correlación entre las variables y el rendimiento semilla (RtoSem), aquellas que muestren altos grados de correlación con el rendimiento se someterán al análisis de sendero para determinar los efectos directos e indirectos de las variables sobre la producción.

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. GRUPO ANDIGENA

4.1.1. Fenología y requerimientos térmicos

Teniendo en cuenta las observaciones periódicas y siguiendo la escala BBCH de papa modificada para este estudio (Tabla 2), se determinó a partir de la siembra, la acumulación de grados días necesarios para el cumplimiento de los estados fenológicos para los genotipos del grupo Andigena (Figura 2).

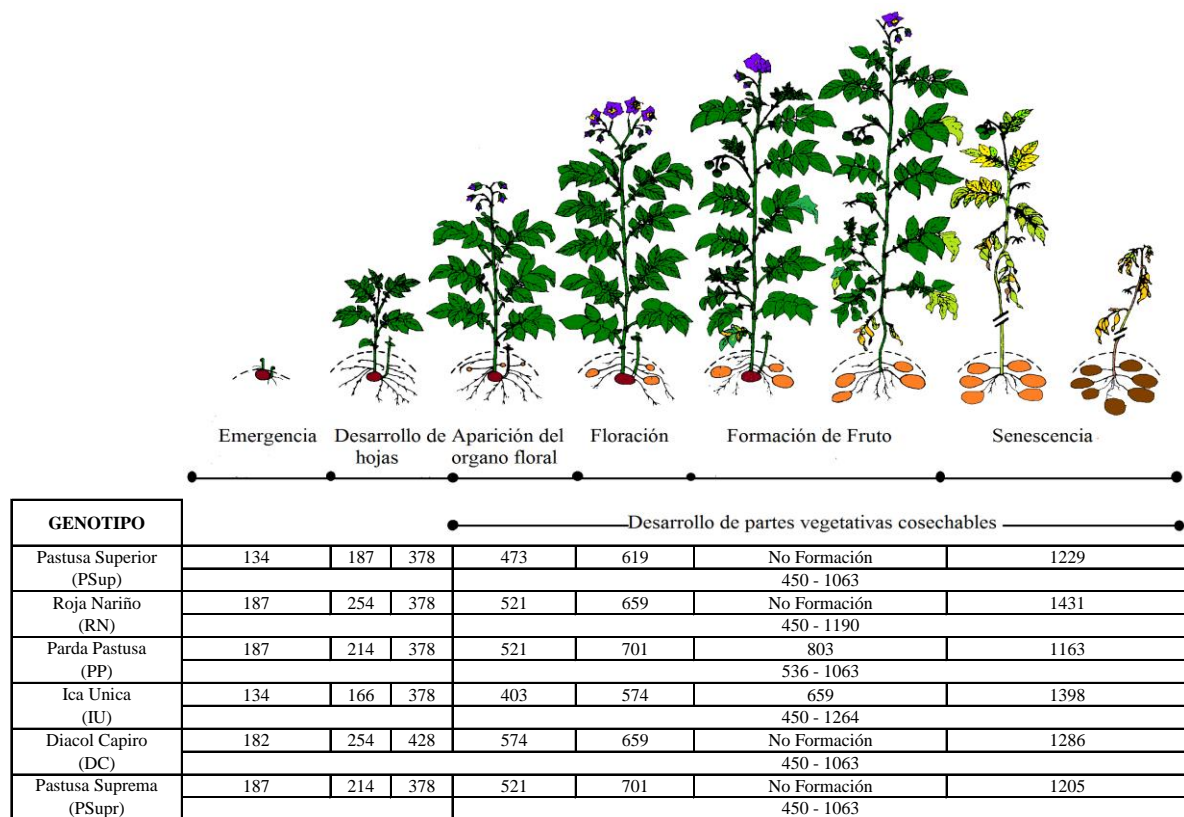


Figura 2. Grados día (GD) requeridos para alcanzar los principales estados fenológicos de los genotipos Pastusa Superior (PSup), Roja Nariño (RN), Parda Pastusa (PP), Ica Unica (IU), Diacol Capiro (DC), Pastusa Suprema (PSupr).

Fuente: Modificado de Hack *et al.*, 1993.

- **Emergencia.**

La emergencia para Pastusa Superior e Ica Unica requirió de 134 GD (20 dds), para Diacol Capiro se presentó a los 182 GD (28 dds) y para Roja Nariño, Parda Pastusa y Pastusa Suprema a los 187 GD (29 dds) (Figura 2). La emergencia fue variable en los genotipos, que pudo deberse a diferencias en la actividad fisiológica de los tubérculos motivada por alteraciones de tipo hormonal causadas al momento de la siembra. Por otro lado, también puede depender de las reservas presentes y metabolitos de la semilla.

Según Rodríguez *et al.* (2016) en estudio realizado en Cundinamarca bajo condiciones de invernadero, reportaron la emergencia del 50% en los genotipos Diacol Capiro y Pastusa Suprema a los 136 GD, con una temperatura media de 17.33°C, datos inferiores a los del presente estudio; resultados explicables en el mayor control de humedad, temperatura ambiental y del sustrato de siembra y de condiciones ambientales como la radiación, viento y HR, en el invernadero.

De igual manera, los datos de esta investigación difieren con los reportados por Magdaleno *et al.* (2014) quienes evaluaron en México la acumulación térmica para el cumplimiento de la emergencia en la variedad Alpha con requerimientos de 374 GD (23-32 días); de acuerdo a lo observado en la presente investigación lo anterior se debe a que los requerimientos térmicos relacionados con la aparición de cada fase de desarrollo son diferentes para cada variedad.

- **Desarrollo de hojas.**

El desarrollo de hojas fue determinado en dos estados del ciclo, tercera hoja del tallo principal desplegada mayor a 4 cm y décima hoja del tallo principal desplegada mayor de 4 cm, se presentaron en Ica Unica a los 166 y 378 GD (25 y 60 dds), Pastusa Superior a los 187 y 378 GD (29 y 60 dds), Parda Pastusa y Pastusa Suprema a los 214 y 378 GD (34 y 60 dds), Roja Nariño a los 254 y 378 (40 y 60 dds) y Diacol Capiro a los 254 y 428 GD (40 y

68), respectivamente. Los grados día acumulados en la formación de la tercera hoja fueron diferentes para los genotipos estudiados, pero requirieron los mismos grados días hasta la formación de la décima hoja, a excepción de Diacol Capiro que necesitó acumular más grados día (Figura 2).

- **Formación de brotes laterales.**

La acumulación térmica requerida para alcanzar la presencia de tres brotes basales laterales con una longitud mayor a 5 cm fue de 473 GD (75 dds) para los genotipos Parda Pastusa, Ica Unica y Pastusa Suprema, de 521 GD (82 dds) para Pastusa Superior y Roja Nariño y de 574 GD (90 dds) para Diacol Capiro. Estos resultados concuerdan con los rangos determinados por Rodríguez *et al.* (2016) para el proceso de formación de ramas laterales en diferentes genotipos de papa; estos autores reportaron un rango de acumulación de calor para los genotipos Diacol Capiro y Pastusa Suprema desde los 283 GD hasta los 794 para Diacol Capiro y hasta 867 para Pastusa Suprema. En esta etapa empiezan a desarrollar un sistema radicular activo que toma nutrientes y la planta los utiliza para un crecimiento rápido de las estructuras aéreas y subterráneas; el aporque favorece dicha respuesta (Valbuena *et al.*, 2010).

- **Desarrollo de los órganos vegetativos cosechables.**

La formación de tubérculos, considerada como el momento en que los ápices de los estolones se encuentran hinchados dos veces el diámetro del resto del estolón. Esta fase ocurrió a los 450 GD (68 dds) en los genotipos Pastusa Superior, Roja Nariño, Ica Unica, Diacol Capiro y Pastusa Suprema y a los 536 (78 dds) en Parda Pastusa. Magdaleno *et al.* (2014) determinaron en la variedad Alpha que los grados días necesarios para el desarrollo vegetativo e inicio de formación de tubérculos se presenta desde los 480 hasta los 685 GD, datos que concuerdan con esta investigación.

Segura *et al.* (2006) reportaron inicio de tuberización a los 50 dds para Diacol Capiro y a los 55 Pastusa Suprema, datos inferiores a los reportados en este trabajo, explicable si se tiene en cuenta que las condiciones de temperatura del trabajo de estos autores fueron superiores (14°C) a los del presente estudio (12,5°C), sin haber considerado el tiempo térmico requerido. De igual manera, los autores mencionan que el inicio de tuberización debe tenerse en cuenta, ya que el aporque debe realizarse antes para evitar que los estolones se diferencien en tallos laterales, disminuyendo el rendimiento potencial.

Los genotipos Pastusa Superior, Parda Pastusa, Diacol Capiro y Pastusa Suprema alcanzaron piel madura de los tubérculos a los 1063 GD (160 dds), para Roja Nariño e Ica Unica la maduración requirió más acumulación de grados día 1190 GD (180 dds) y 1264 GD (191 dds), respectivamente. Magdaleno *et al.* (2014) determinaron en la variedad Alpha que la madurez fisiológica de los tubérculos fue a los 1624 GD; Rodríguez *et al.* (2016) reportaron para los genotipos Diacol Capiro, Esmeralda y Pastusa Suprema que la formación de tubérculo se extiende hasta los 1677 GD, datos superiores a los encontrados en la presente investigación, lo cual pudo deberse a que los genotipos se encontraban en temperaturas óptimas de producción entre 12 y 18°C y a una mayor luminosidad por ser condición ecuatorial (FEDEPAPA, 2004).

- **Aparición del órgano floral.**

La aparición de la primera inflorescencia del tallo principal (1-2 mm) inició a los 403 GD (64 dds) para Ica Unica, a los 473 GD (75 dds) para Pastusa Suprema, a los 521 GD (82 dds) para Roja Nariño, Parda Pastusa y Pastusa Suprema y a los 574 (90 dds) para Diacol Capiro (Figura 2). Estos resultados se encuentran en concordancia con Rodríguez *et al.* (2016) quienes reportan una acumulación térmica para el cumplimiento de este estado de 433 para el genotipo Esmeralda y de 520 para Pastusa Suprema y Diacol Capiro.

Los genotipos se encontraron en floración a los 574 GD (90 dds) para Ica Unica, a los 619 GD (97 dds) para Pastusa Superior, a los 659 GD (103 dds) para Diacol Capiro y Roja

Nariño; y a los 701 GD (109 dds) para Parda Pastusa y Pastusa Suprema (Figura 2). Se presentó fin de la floración a los 759 (117 dds) para Diacol Capiro, a los 844 (130 dds) para Pastusa Superior y Parda Pastusa, a los 895 (137) para Ica Unica, a los 908 (139 dds) para Pastusa Suprema y a los 1140 (173 dds) para Roja Nariño.

La duración de la floración fue de 100 GD (14 d) para Diacol Capiro, 144 GD (21 d) para Parda Pastusa, 207 GD (30 d) para Pastusa Suprema, 225 GD (33 d) para Pastusa Superior, 320 GD (47 d) para Ica Unica y 482 GD (70 d) para Roja Nariño, este último genotipo presentó una floración más larga debido a su característica morfológica de abundante floración. Segura *et al.* (2006) encontraron que la duración de la floración para Diacol Capiro fue de 35 días, para Pastusa Suprema de 41 días, para Betina 63 días y para Esmeralda 69 días, los datos presentados en la presente investigación se encuentran dentro de los rangos.

Valbuena *et al.* (2010) en el estudio de descripción fenológica de Diacol Capiro y Parda Pastusa, mencionan que la floración para Diacol Capiro no es muy abundante como se presenta en la variedad Parda Pastusa; donde los requerimientos térmicos de estos genotipos para la floración estuvieron entre 100 GD y de 207 GD.

- **Formación de fruto.**

Las primeras bayas visibles se presentaron a los 659 GD (103 dds) para IU y a los 803 GD (124 dds) para Parda Pastusa, el resto de genotipos no presentaron fructificación; según Rodríguez *et al.* (2016) tampoco encontraron formación de frutos en los genotipos Diacol Capiro y Pastusa Suprema. Igualmente, Segura *et al.* (2006) encontraron los mismos resultados atribuyendo a una característica varietal asociada con su alta andoesterilidad.

- **Senescencia.**

El 50 % de las hojas de color marrón se presentó a los 1163 GD (176 dds) para Parda Pastusa, a los 1205 GD (182 dds) para Pastusa Suprema, a los 1229 GD (186 dds) para Pastusa Superior, a los 1286 (195 dds) para Diacol Capiro, a los 1398 (214 dds) para Ica Unica y a los 1431 GD (218 dds) para Roja Nariño (Figura 2).

El conocimiento de los requerimientos térmicos de cada etapa fenológica en los diferentes genotipos estudiados representa ventajas prácticas y agronómicas, que permiten optimizar la utilización de insumos, planificar el cultivo bajo condiciones climáticas variables y sobre el ataque de plagas importantes en el cultivo. Al respecto, Magdaleno *et al.* (2014) mencionan que el tiempo térmico requerido para cada etapa fenológica, constituye información útil en la planeación de las actividades agrícolas tanto en el cultivo como en la producción de semilla de papa.

Además, resulta interesante y necesario continuar trabajando en el cultivo de papa en relación con su adaptación al cambio climático y las afectaciones que se producen en el proceso de crecimiento y desarrollo de diferentes cultivares (Franke *et al.*, 2013).

4.1.2. Crecimiento

A continuación se presentan los resultados de las variables de crecimiento teniendo en cuenta que la densidad de siembra fue 27.777 pl.ha⁻¹, debido a que no se presentaron diferencias entre las densidades evaluadas.

- **Altura de planta (AP).**

La altura de planta es una variable importante en la arquitectura vegetal que determina en gran medida la eficiencia en la captura de la luz mediante la distribución y espaciamento foliar, al igual que interviene en los procesos de intercambio de agua al afectar los

diferentes gradientes entre la humedad del ambiente y el agua de la hoja (Criollo y Córdoba, 2019).

En la figura 3, se observa la dinámica de la variable altura de planta a través de la acumulación de grados día después de la siembra; los cinco genotipos mostraron un comportamiento sigmoideo típico del crecimiento vegetal, con una elongación lenta durante los primeros 367 GD, acelerado o logarítmico hasta los 712 GD, posteriormente lento hasta alcanzar la máxima altura y finalmente baja. La altura máxima ocurrió a los 876 GD en los genotipos Pastusa Superior, Pastusa Suprema y Diacol Capiro que presentaron alturas de 72,16 cm, 70,36 cm y 55,39 cm, respectivamente. Los genotipos Parda Pastusa e Ica Unica alcanzaron su mayor altura a los 975 GD con 84,11 cm y 78,81 cm, respectivamente. La dinámica de AP para los cinco genotipos correspondió al modelo de Hoerl.

El genotipo Parda Pastusa, supera al resto de genotipos por su característica de poseer un porte alto y ramificación que se registra como un componente de la plasticidad de la morfología vegetal, que contribuye al aprovechamiento eficaz de la luz. Las señales de luz juegan un papel importante en la respuesta del follaje del cultivo de papa a cambios de la intensidad de la luz (Hutching y De Kroon, 1994).

Los resultados reportados por Rodríguez *et al.* (2016), en el departamento de Cundinamarca determinaron el mayor crecimiento de Pastusa Suprema (118 cm) en comparación con Diacol Capiro (97 cm), la cual presentó la menor altura de planta.

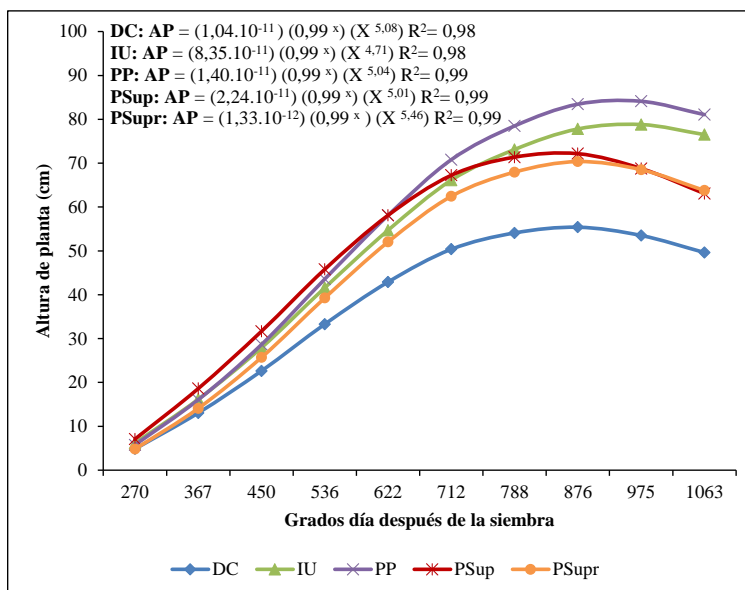


Figura 3. Altura de planta de los genotipos Diacol Capiro (DC), Ica Unica (IU), Parda Pastusa (PP), Pastusa Superior (PSup) y Pastusa Suprema (PSupr).

Fuente: Esta investigación.

- **Área foliar (AF).**

La figura 4 muestra el crecimiento del área foliar de los genotipos en función de los grados día acumulados; el área foliar para los cinco genotipos creció de forma exponencial hasta los 712 GD, posteriormente fue lento hasta alcanzar el mayor desarrollo de AF y después disminuyeron. Los genotipos Parda Pastusa, Pastusa Suprema y Diacol Capiro desarrollaron la mayor expansión de AF a los 876 GD, con valores de 217,15 m^2 , 167,69 dm^2 y 103,39 dm^2 , respectivamente. Los genotipos Ica Unica y Pastusa Superior llegaron a su mayor desarrollo a los 975 GD con 168,58 dm^2 y 167,89 dm^2 , respectivamente (Figura 4). El comportamiento del AF de los genotipos Diacol Capiro y Pastusa Superior se ajustó al modelo de Hoerl, mientras que el de los genotipos Parda Pastusa y Pastusa Suprema se ajustó al modelo de Gaussian e Ica Unica a un polinomial de tercer grado.

Al respecto, Santos *et al.* (2010) mencionan que la producción de materia seca de las hojas se encuentra relacionada con el área foliar; en el presente estudio, los valores máximos de producción de materia seca coincidieron con los valores máximos de desarrollo de AF, que

se presentaron a los 876 GD para Parda Pastusa, Pastusa Suprema y Diacol Capiro y a los 975 GD para Ica Unica y Pastusa Superior.

El AF de los genotipos evaluados superan al encontrado por Rodríguez *et al.* (2003) que reporta en el municipio de Mosquera (Cundinamarca) un AF de 89,07 dm² a los 113 dds para la variedad; esta situación puede ser atribuida a la densidad de siembra utilizada, a la no presencia de enfermedades foliares y a los mínimos daños por insectos. Lo anterior, porque se utilizó semilla de calidad y a lo largo del cultivo las prácticas agronómicas se realizaron minuciosamente por ser un lote de producción de semilla.

Valbuena *et al.*, 2010 en el departamento de Nariño encontraron que la máxima área foliar la presentó el genotipo Parda Pastusa con 157,22 dm² y para Diacol Capiro con 120,66 dm², lo cual coincidió con el estado de floración; los valores máximos concuerdan con los encontrados en la presente investigación para el genotipo Diacol Capiro.

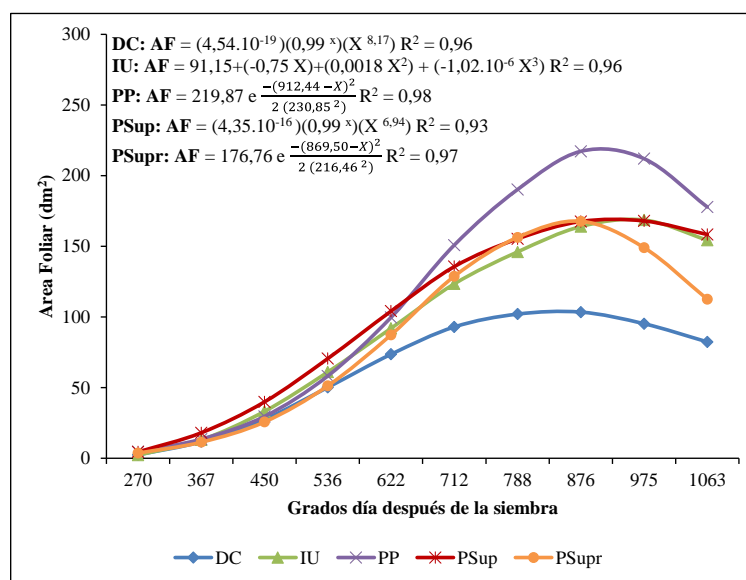


Figura 4. Comportamiento del área foliar (AF) por planta de los genotipos Diacol Capiro (DC), Ica Unica (IU), Parda Pastusa (PP), Pastusa Superior (PSup) y Pastusa Suprema (PSupr).

Fuente: Esta investigación.

- **Índice de área foliar (IAF).**

En la figura 5, se presenta el IAF de los cinco genotipos a través de los diferentes periodos de acumulación térmica; El IAF máximo ocurrió a los 876 GD para Parada Pastusa (6,11), Pastusa Suprema (4,77), Pastusa Superior (4,70) y Diacol Capiro (2,91) y a los 975 GD para Ica Unica (4,72). La tendencia de esta variable a lo largo del cultivo, se ajustó para Diacol Capiro y Pastusa Superior al modelo matemático de Hoerl, para Parada Pastusa y Pastusa Suprema al de Gaussian e IU al polinomial de tercer grado.

Los valores de IAF obtenidos en esta investigación superan los encontrados por Villa *et al.* (2017) quienes evaluaron en Venezuela el efecto de la nutrición nitrogenada sobre el índice de área foliar en la variedad Granola y encontraron que con 400 kg.ha⁻¹ de Nitrógeno se alcanzó un IAF de 1,42; que pudo deberse a que en este experimento no se realizaron muestreos directos usando para su determinación métodos indirectos, como el analizador portátil de dosel de plantas.

Igualmente superan a los de Santos *et al.* (2010) en el municipio de Zipaquirá (Cundinamarca) encontraron valores de IAF de 2,87, para Esmeralda de 2,51 y de 1,6 para las variedades Betina y Diacol Capiro. La variación de los resultados puede ser atribuida a la arquitectura de la planta y al patrón de desarrollo específico relacionado con la influencia de las condiciones ambientales. Además, la estructura del follaje desempeña un papel fundamental en los procesos de intercambio de materia y de energía entre la planta y la atmósfera (De la Casa *et al.*, 2007; Jerez y Martin, 2012).

Los valores de IAF de Pastusa Suprema, Pastusa Superior e Ica Unica son cercanos y de Diacol Capiro se encuentra dentro de los rangos a los reportados por De la Casa *et al.* (2011) quienes evaluaron el efecto de la densidad de planta en el IAF, con los siguientes tratamientos de densidad de tallos emergidos: doble densidad (DD = 17 tall.m⁻²), densidad comercial (CD = 11 tall.m⁻²) y baja densidad (LD = 6 tall.m⁻²). Los autores observaron que en la mitad del ciclo (50 DAE), el IAF es mayor en densidad doble con 4,47, intermedio en la densidad comercial con 4,19) y más bajo en densidad baja con 3,54.

Los IAF de los genotipos Ica Unica, Pastusa Suprema y Pastusa Superior se encuentran en concordancia con los obtenidos por Romero *et al.* (2017) quienes reportan para Diacol Capiro y Perla Negra valores de 4,7 y 4,2, respectivamente y a los de Jerez *et al.* (2016) quienes evaluaron en Cuba el IAF de los materiales Call White, Spunta y Santana durante los años 2010 y 2011, con valores promedio en Call White de 5,5 y en Spunta de 4,8 en el 2010, valores superiores respecto a los alcanzados en el 2011 (4,2 y 4,3, respectivamente).

Los altos IAF encontrados en el presente estudio, pueden ser importantes que se relacionan con una mayor partición de asimilados desde las hojas hacia los tubérculos; Los valores más bajos podría garantizar la mayor exposición de las hojas remanentes a la radiación fotosintéticamente activa (RFA) y por tanto mayor eficiencia fotosintética (Jerez *et al.*, 2016).

En otras investigaciones realizadas en Costa Rica encontraron que el IAF para los genotipos Norteña, Alpha y Russett Burbank valores de IAF de 7, 6 y 5, respectivamente (Borrego *et al.*, 2000), mientras que Hayr (1989) reportó valores de IAF que van desde 2 a 8 en distintas variedades de papa en Inglaterra, enfatizando la necesidad de evaluar en diferentes localidades y años, ya que el área foliar se ve afectado por enfermedades, granizadas, nutrición mineral y factores de índole climático.

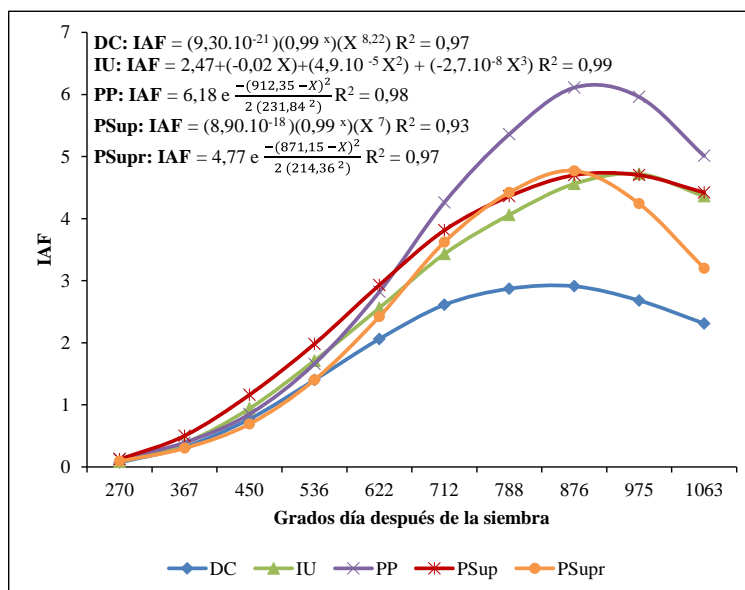


Figura 5. Dinámica del comportamiento del índice de área foliar (IAF) por planta de los genotipos Diacol Capiro (DC), Ica Unica (IU), Parda Pastusa (PP), Pastusa Superior (PSup) y Pastusa Suprema (PSupr).

Fuente: Esta investigación.

- **Índice de asimilación neta (IAN).**

En la figura 6, se aprecia el índice de asimilación neta de los genotipos, en función de la acumulación térmica; la cinética del IAN fue variable y obedeció a un comportamiento de tipo polinómico de tercer grado.

Es importante apreciar que los genotipos al acumular 1063 GD el IAN es bajo y tiende a ser nula, situación que se debe a la disminución de la fotosíntesis por aumento de respiración o reducción del área fotosintética (Moorby, 1970). El genotipo Pastusa Suprema, al inicio del ciclo presentó un IAN bajo en comparación a los demás genotipos, presenta ascensos y descensos y al acumular 1063 GD aumenta, que pudo deberse a que la papa se comporta diferente a otras especies porque acumula reservas en los tubérculos y no en la parte aérea, lo cual al asociarse con la senescencia y pérdida de hojas sugiere mayor eficiencia casi al final del ciclo biológico (Oliveira *et al.*, 2000). Las fluctuaciones del IAN de los genotipos

a lo largo de la acumulación térmica, con ascensos y descensos puede deberse al ambiente; Jerez *et al.*, 2016 se encuentran en concordancia con la afirmación.

Los genotipos que tuvieron mayores valores de IAN (Diacol Capiro, Ica Unica y Pastusa Superior), poseen mayor producción de materia seca por unidad de área foliar y por grados día acumulados, que indica una mayor eficiencia fotosintética y podría esperarse que tengan una buena productividad.

Los resultados encontrados fueron similares a los de Santos *et al.* (2010) que evaluaron en el municipio de Zipaquirá (Cundinamarca) la tasa de asimilación neta de Pastusa Suprema, Betina, Esmeralda y Diacol Capiro, encontrando valores altos al inicio del ciclo de cultivo en todas las variedades ($0.07 - 0.09 \text{ g dm}^{-2} \text{ semana}^{-1}$), atribuido a que las plantas se encontraban desarrollando material nuevo (hojas) y estaban expuestas a la RAF.

Gaitán *et al.* (2013) estudiaron en la Sabana de Bogotá el IAN de las variedades Monserrate, Única y Zipa, las cuales alcanzaron los máximos valores por planta aproximadamente a los 105 dds con valores de 0,014, 0,017 y 0,012 $\text{g cm}^{-2} \text{ sem}^{-1}$, respectivamente mientras que la variedad Morita lo alcanzó a los 112 dds con $0,019 \text{ g cm}^{-2} \text{ sem}^{-1}$. En la variedad Monserrate se destaca una etapa donde el valor de IAN presenta valores con pequeños incrementos hasta los 112 dds, luego los valores comienzan a descender drásticamente. Situación similar se presentó en los genotipos Pastusa Superior y Diacol Capiro, donde los máximos valores se registran al acumular entre 788 y 876 GD, se estabilizan y posteriormente decrece, debido a la disminución de materia seca de las hojas y tallos.

Se evidencia que los valores encontrados de IAN se encuentran en correspondencia con el índice de área foliar, los genotipos que presentaron valores mayores de IAN fueron los que presentaron menores de IAF, resultados similares fueron encontrados por Jerez *et al.* (2016) en Cuba al evaluar el IAF y IAN en la variedad Satanas. Lo anterior se presenta debido a que los genotipos de porte alto con un mayor IAF ocasionan un sombrío en hojas de la

parte media y baja de planta interrumpiendo la entrada de luz y por ende la asimilación neta, caso contrario se presenta en los genotipos de porte medio a bajo con valores menores de IAF, en donde las hojas que exponen completamente a la luz y presentan mayor actividad fotosintética.

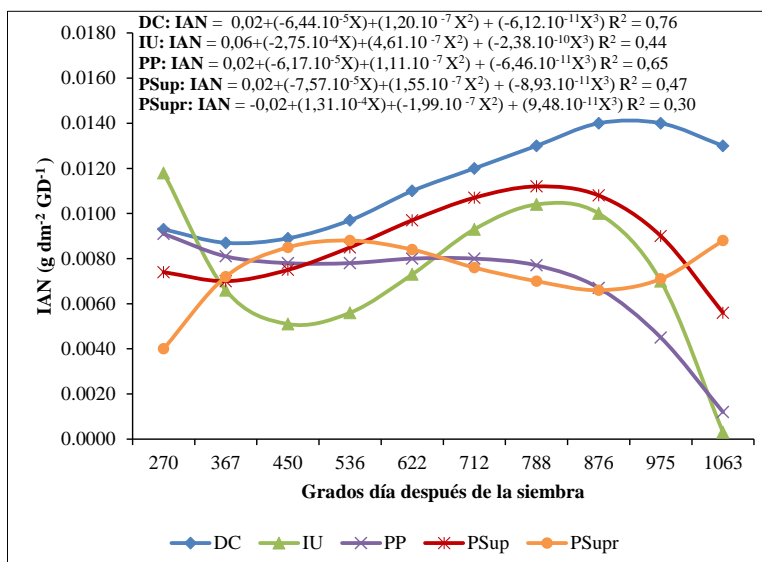


Figura 6. Comportamiento del índice de asimilación neta (IAN) por planta de los genotipos Diacol Capiro (DC), Ica Unica (IU), Parda Pastusa (PP), Pastusa Superior (PSup) y Pastusa Suprema (PSupr).

Fuente: Esta investigación.

- **Índice de crecimiento relativo (ICR).**

En la figura 7, se muestra los resultados del comportamiento del índice de crecimiento relativo de los cinco genotipos a través de la acumulación térmica, el cual representa la capacidad de la planta para producir material nuevo por grados día acumulado. La tendencia de los valores registrados para los cinco genotipos durante la evaluación, se ajustaron a un modelo de polinomial de tercer grado.

Como se observa en la figura 7 los genotipos Pastusa Suprema y Diacol Capiro al acumular 270 GD presentaron el máximo valor con 0.0140 y 0.0120 g g⁻¹ °GD⁻¹, respectivamente, resultados similares fueron reportados en Cuba por Jerez *et al.* (2016) para el año 2010 en variedades Call White y Spunta. Posteriormente, los valores fueron disminuyendo

gradualmente hasta acumular 1063 GD con valores de $0.002 \text{ g g}^{-1} \text{ }^\circ\text{GD}^{-1}$ (Figura 7). Clavijo (1989) menciona que este comportamiento se debe a que, en la etapa inicial de desarrollo del cultivo, son más eficientes en la elaboración de nuevo material y va disminuyendo al transcurrir el tiempo. Otros autores mencionan que el comportamiento se debe a una reducción en la acumulación de biomasa o materia seca en las hojas y tallo y existe una translocación de nutrientes hacia los órganos vertederos (Rodríguez, *et al.* 2010; Soto, *et al.* 2018).

El comportamiento de Pastusa Suprema y Diacol Capiro fue similar a lo encontrado por Mora *et al.* (2006) en México en los genotipos Alpha, Puebla, Norteña y C-676014, C-771a11 donde el ICR fue elevado al inicio del desarrollo de las plantas y conforme transcurrió el tiempo tendió a disminuir. El ICR es un índice afectado por cambios en los factores ambientales los cuales pueden ser compensados por condiciones que se vuelvan progresivamente más favorables al cultivo, como un manejo agronómico eficiente en el suministro adecuado y oportuno de humedad y de nutrientes como lo indican Oliveira *et al.* (2000) y Rajwade *et al.* (2000)

También es similar a lo encontrado por Santos *et al.* (2010) en los genotipos Diacol Capiro, Pastusa Suprema, Betina y Esmeralda, aunque los valores máximos (0.8 a $1.0 \text{ g g}^{-1} \text{ semana}^{-1}$) superan los del presente estudio, debido a las diferencias medioambientales de los experimentos y a las diferencias en las convenciones utilizadas. Al respecto, Grime y Hunt (1975) concluyen que las diferencias varietales y la ubicación geográfica son determinantes en el comportamiento fisiológico de la especie.

Situación diferente (Figura 7) se presentó en los genotipos Pastusa Superior, Parda Pastusa e Ica Unica al acumular 270 GD, donde los valores fueron menores (0.0065 , 0.0058 y $0.0030 \text{ g g}^{-1} \text{ }^\circ\text{GD}^{-1}$, respectivamente), posteriormente aumentaron y a una acumulación térmica de 536 GD llegaron a su máximo valor (0.0097 , 0.0102 y $0.0092 \text{ g g}^{-1} \text{ }^\circ\text{GD}^{-1}$, respectivamente), se mantuvieron y luego el ICR decreció, sus valores fluctuaron entre 0.0002 y $0.0008 \text{ g g}^{-1} \text{ }^\circ\text{GD}^{-1}$, comportamiento similar lo encontró Jerez *et al.* (2016) en

Cuba al evaluaron el ICR en las variedades Call White y Spunta, las cuales presentaron a los 30 dds valores de 0.09 y a los 40 dds y a los 50 dds valores máximos de 0.13 g g⁻¹ d⁻¹ para Call White y de 0.12 g g⁻¹ d⁻¹ para Spunta.

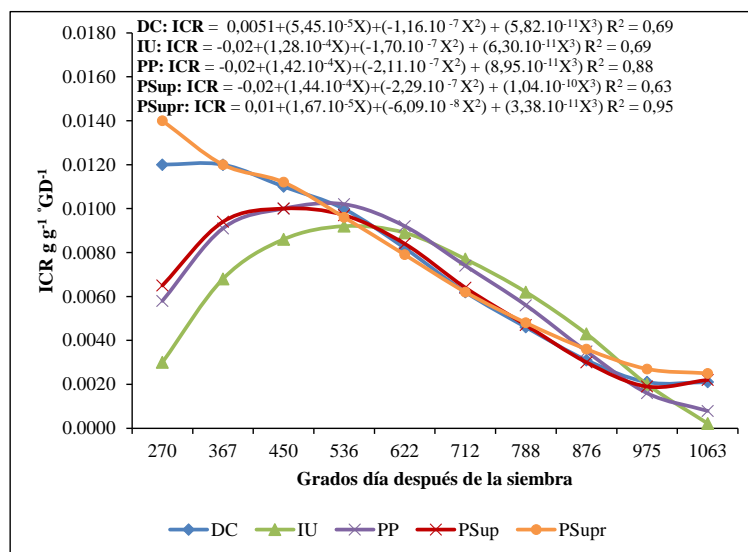


Figura 7. Índice de crecimiento relativo (ICR) por planta de los genotipos Diacol Capiro (DC), Ica Unica (IU), Parda Pastusa (PP), Pastusa Superior (PSup) y Pastusa Suprema (PSupr).
Fuente: Esta investigación.

- **Índice de crecimiento del cultivo (ICC).**

El ICC, representa la productividad agrícola. En la figura 8 se muestra el comportamiento de esta variable en función de los grados día después de la siembra, el cual fue similar en los genotipos evaluados a lo largo del ciclo cultivo. Se observó una tendencia de incremento hasta alcanzar el mayor valor registrado a los 975 GD para Pastusa Suprema con 0.0321 g dm⁻² °GD⁻¹ y a los 1063 GD para el resto de los genotipos (Ica Unica con 0.0625 g dm⁻² °GD⁻¹, PP con 0,0471 g dm⁻² °d⁻¹, Pastusa Suprema con 0,0317 g dm⁻² °GD⁻¹ y Diacol Capiro con 0,0310 g dm⁻² °GD⁻¹). Hunt, 1978 menciona que el máximo valor corresponde a la mayor eficiencia productiva por unidad de superficie de suelo y por grados día acumulados. La tendencia se ajustó al modelo polinomial de tercer grado para los

genotipos Diacol Capiro y Parda Pastusa, al modelo cuadrático para Ica Unica y Pastusa Superior y al modelo de Hoerl para Pastusa Suprema.

El comportamiento de los genotipos fue similar a los encontrados por Jerez *et al.* (2016) al evaluar la tasa de crecimiento del cultivo en los cultivares Call White, Satana, Spunta con valores bajos al inicio del cultivo con valores que oscilaron entre 0,2 y 0,7 g g⁻² día⁻¹ y altos al final del ciclo con 73, 23 y 18 g g⁻² día⁻¹, respectivamente, en donde el cultivar Call White presentó mayores rendimientos.

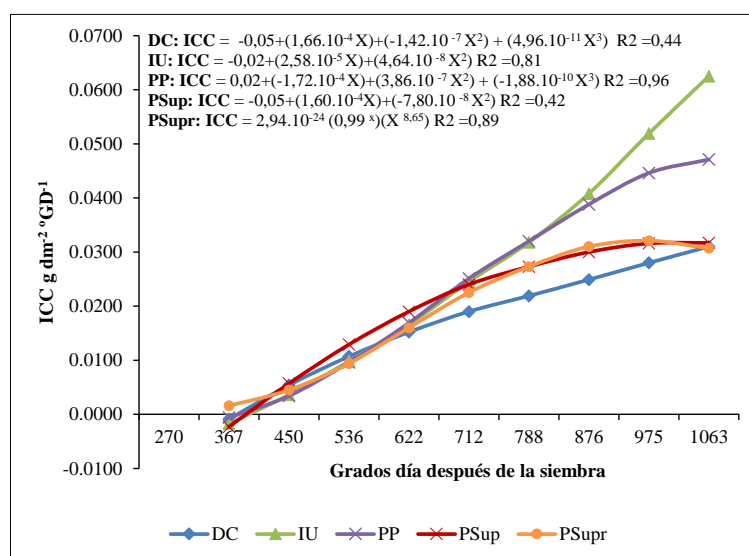


Figura 8. Dinámica del índice de crecimiento del cultivo (ICC) por planta de los genotipos Diacol Capiro (DC), Ica Unica (IU), Parda Pastusa (PP), Pastusa Superior (PSup) y Pastusa Suprema (PSupr).

Fuente: Esta investigación.

- **Materia seca total y su distribución en la planta.**

En la figura 9, se observa la dinámica de la materia seca total (hojas, tallos, raíz, estolones, tubérculos, flores, frutos) en función de los grados día acumulados; los genotipos, al inicio del ciclo se evidencia una baja tasa en la ganancia de materia seca (1,11 - 5,53), la cual incrementó a través de la acumulación de grados día, alcanzando una biomasa total que osciló entre 479,61 y 582,37 g a los 1063 GD. El comportamiento del incremento MSTP se ajustó mediante un modelo de Hoerl para Diacol Capiro y de Gaussian para el resto de genotipos:

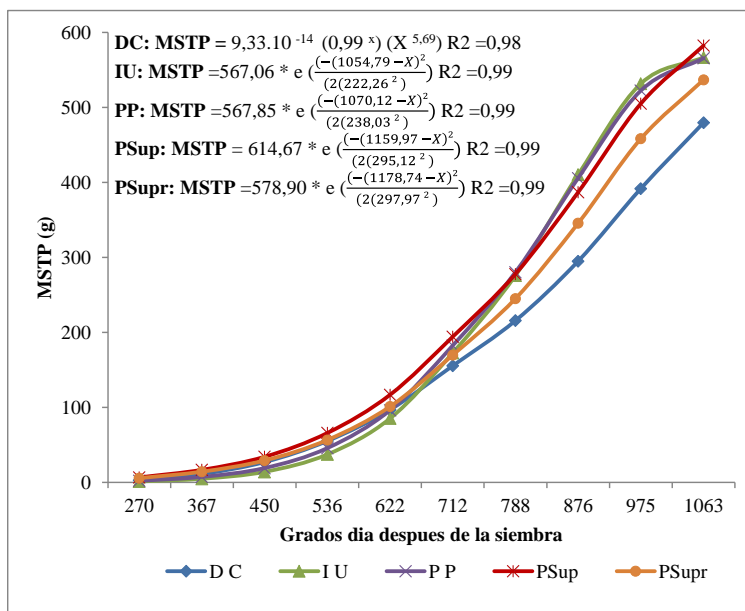


Figura 9. Dinámica del comportamiento de la materia seca total por planta (MSTP) de los genotipos Diacol Capiro (DC), Ica Unica (IU), Parda Pastusa (PP), Pastusa Superior (PSup) y Pastusa Suprema (PSupr).
Fuente: esta investigación.

Teniendo en cuenta ganancia de materia seca total al acumular grados día, en la figura 10 se aprecia la distribución porcentual de materia seca de los diferentes órganos de la planta:

Hojas. En los cinco genotipos, el porcentaje de materia seca aportado por las hojas con respecto a la materia seca total de la planta alcanzó su valor máximo con una acumulación térmica de 367 y 450 GD con valores que oscilaron entre 59 y 64%, posteriormente decrece a medida que acumulan grados día (Figuras 10).

Tallos. La mayor proporción de materia seca de tallos para Parda Pastusa, Ica Unica y Diacol Capiro se presentó al acumular 536 GD con 22 %, 17 % y 14 %, respectivamente mientras que para Pastusa Superior y Pastusa Suprema ocurrió con un acumulado de 622 GD con 23 % y 18 %, respectivamente; luego, esta proporción decrece a lo largo del ciclo del cultivo (Figura 10).

Estolones. Los genotipos, en las primeras etapas de crecimiento a una acumulación térmica que va desde 270 GD a 450 GD, se presentó el mayor valor porcentual de materia seca de estolones con un promedio de 5,25 % con respecto a la biomasa total; a partir de ese momento la proporción comienza a disminuir hasta alcanzar valores de aporte del 1% al acumular 1063 GD.

Raíz. Los genotipos presentaron el mayor valor porcentual de materia seca por parte de las raíces a los 270 GD con valores que van desde 35 a 42 %, posteriormente se redujo hasta el final del ciclo del cultivo, con 1% del total de materia seca de la planta (Figura 10).

Tubérculos. El aporte porcentual de materia seca de tubérculos inició con un acumulado de 450 y 536 GD del 6% para Diacol Capiro, 5% para Ica Unica, 2% para Parda Pastusa y 1% para Pastusa Suprema y Pastusa Superior, posteriormente se observó un aumento significativo hasta los 1063 GD cuando la conformación de la materia seca del tubérculo alcanzó un valor promedio del 81% de la biomasa total de la planta.

Es importante menciona que el inicio de la formación del tubérculo coincide con la presencia de la mayor biomasa foliar.

Flores. El aporte porcentual de materia seca de flores con respecto al total de la planta se presentó para el genotipo IU a una acumulación térmica de 536 a 712 GD con valores de 1%, el resto de genotipos registraron valores inferiores.

Frutos. El mayor aporte porcentual de materia seca de frutos a la conformación del peso seco total lo presentó PP e IU con una acumulación de 975 GD con 5% y 2%, respectivamente; los demás genotipos no presentaron frutos (Figura 10).

La materia seca total y su distribución son el resultado de la eficiencia del follaje en la intercepción y utilización de la radiación solar disponible durante el ciclo de crecimiento. Tal eficiencia, puede estar influenciada por la cantidad de radiación solar, la capacidad de

las hojas para fotosintetizar, el índice de área foliar, la arquitectura de la planta y la respiración; en sí, la participación que tienen los factores internos de crecimiento relacionados con el genotipo (Atti *et al.*, 2015) y factores externos relacionados con el ambiente, así como las prácticas de manejo utilizadas durante el ciclo (Atti *et al.*, 2015; Alesi *et al.*, 2010).

Los resultados permiten afirmar que el aumento de la materia seca de los tubérculos es posible por la mayor partición de asimilados de las hojas (fuente) y su capacidad de atraer compuestos de carbono desde los órganos (vertedero). Lo anterior, concuerda con Santos *et al.* (2010) quienes al evaluar la distribución porcentual en la variedad Diacol Capiro y Pastusa Suprema reportan un comportamiento similar en la distribución de materia seca de las hojas y los tubérculos.

Al respecto, Ortiz y Flórez (2008) sostienen que, en la etapa de inicio de tuberización, que ocurre dependiendo de la precocidad de la variedad; los asimilados producidos por el follaje son utilizados para el crecimiento del estolón e iniciación de la tuberización.

Igualmente, Jerez *et al.* (2016) que evaluaron en Cuba el comportamiento de la acumulación y distribución de materia seca entre los diferentes órganos de la planta en las variedades Call White, Santana y Spunta, detectaron diferencias significativas en todo el ciclo entre los órganos productores de masa seca de hojas (fuente) y el sitio de demanda por asimilados (tubérculos) los cuales mostraron las mayores velocidades de crecimiento. Además, destacaron que al inicio del ciclo (40-70 dds) la demanda de materia seca es mayor en el follaje, la cual se distribuye hacia los tubérculos al final de este.

Lo encontrado en la presente investigación coincide con Aguilar *et al.* (2006) quienes mencionan que antes de la tuberización, los fotoasimilados se destinan principalmente para desarrollar más hojas, tallos y raíces y la fuerza de la demanda foliar es mayor que la de cualquier otro órgano. Con el inicio de la tuberización, esta tendencia cambia ya que a medida que los tubérculos crecen, su demanda de asimilados aumenta.

Otros autores señalan que el inicio de la tuberización es un proceso influido por factores ambientales tales como la temperatura y el fotoperíodo, incluso por los niveles de reguladores endógenos del crecimiento; resultando en un incremento del volumen de la médula y la corteza del estolón, debido a la división celular y expansión. La ubicación geográfica del experimento hace que el fotoperíodo para el desarrollo del cultivo se encuentre alrededor de las 12 horas, lo que provoca que el crecimiento de los tubérculos esté favorecido, atendiendo a que, en general, el fotoperíodo corto acelera el inicio de la tuberización. La exportación de asimilados desde las hojas es mayor en días cortos que en días largos (Almeida *et al.*, 2018).

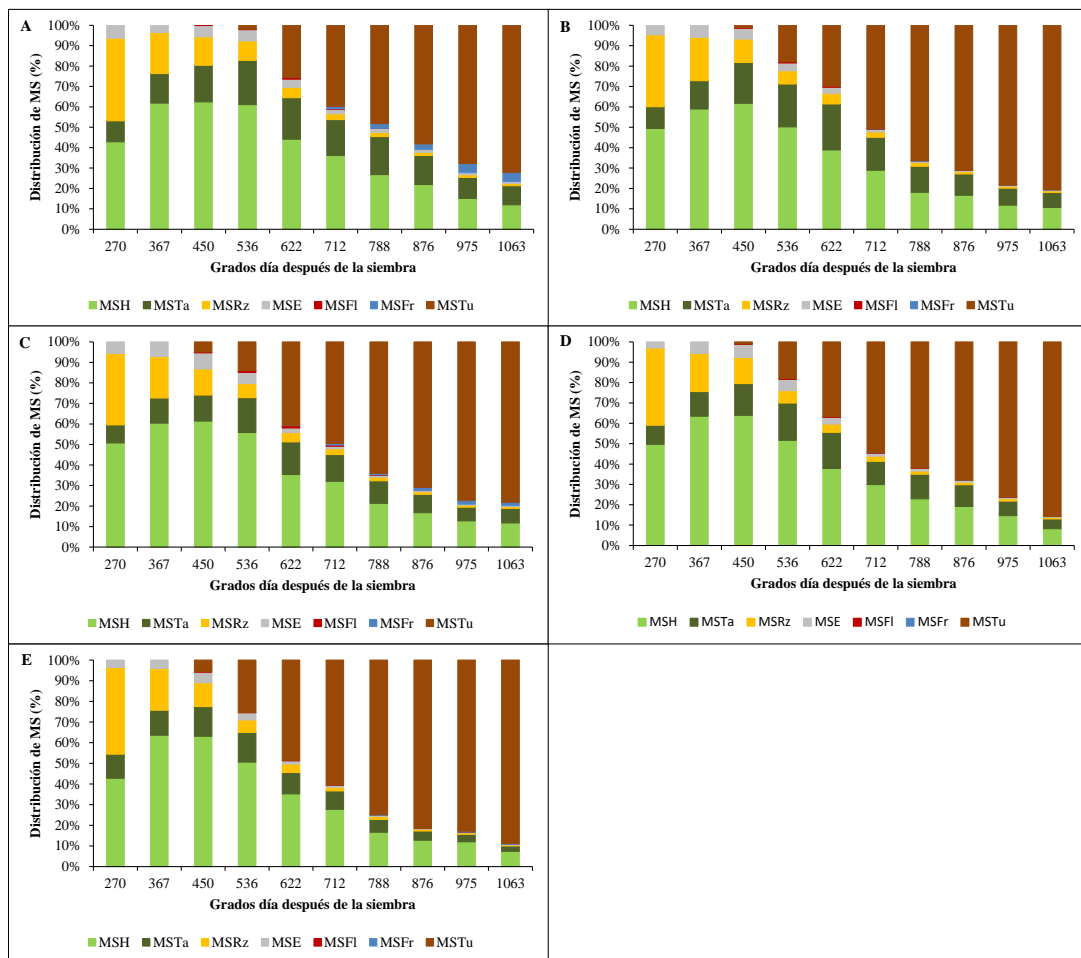


Figura 10. Distribución porcentual de materia seca de los órganos de la planta en genotipos de papa spp. andigena. A. Parda Pastusa, B. Pastusa Superior, C. Ica Unica, D. Pastusa Suprema, E. Diacol Capiro. MSH: Materia seca hojas, MSTa: Materia seca tallos, MSRz: Materia seca raíz, MSFI: Materia seca flores, MSFr: Materia seca fruto, MSTu: Materia seca tubérculo.

Fuente: Esta investigación.

- **Índice de Cosecha IC.**

El índice de cosecha se entiende como la relación entre la materia seca total de la planta y la materia seca económica (tubérculos), variable que se determinó cuando los tubérculos llegaron a su madurez agronómica.

Los índices de cosecha fueron 89% para Diacol Capiro, 86% para Pastusa Suprema, 81% para Pastusa Superior, 79% para Ica Unica y 73% para Parda Pastusa. Porcentajes que se encuentran dentro de los rangos reportados por Rajwade *et al.* (2000) donde menciona que puede variar entre 57 y 91 % cuando los tubérculos han madurado y el follaje está en senescencia y puede presentar diferencias debidas al ambiente de producción, a los genotipos o a la interacción entre ambos factores.

Los resultados son similares a los de Rodríguez *et al.* (2010) en la evaluación de IC para Diacol Capiro, Esmeralda y Betina con valores que oscilan entre 82 y 85% y el menor 72% para Pastusa Suprema alcanzados a las 18 semanas después de la siembra. Estudios que corroboran que Diacol Capiro tiene una mayor eficiencia en la translocación de asimilados a los tubérculos. Valores inferiores, pero con poca diferencia reportó Gómez *et al.* (2018) en la región Andina de Colombia al evaluar el IC para Diacol Capiro y Pastusa Suprema con valores que oscilaron entre el 75 y 85%; que puede ser atribuido a condiciones de origen de suelo, de fertilización y medio ambientales, condiciones interrumpieron la capacidad de atraer asimilados de los órganos fuente.

Según el trabajo de Kooman y Rabbinge (1996), el proceso de asignación y partición de asimilados se puede relacionar con la precocidad de las variedades de papa; en la presente investigación se pudo observar que aquellas variedades de ciclo más corto Diacol Capiro e Ica Unica, realizan la partición de asimilados a los órganos vertedero en mayor proporción que los genotipos con un ciclo más largo (Parda Pastusa, Pastusa Suprema, Pastusa Superior), lo que se convierte en un indicador de precocidad.

4.1.3. Componentes de rendimiento.

A continuación se presentan los resultados con su respectivo análisis de las variables de rendimiento tanto para semilla básica como para semilla registrada de los seis genotipos del grupo andigena.

En las tablas 7 y 8, se presentan los análisis de varianza de las dos categorías de semillas, correspondientes a número de tallos por metro cuadrado (NTam²), número de tubérculos por planta (NTuP), peso promedio de tubérculo (PCTu), rendimiento por planta (RtoP) y clasificación de tubérculos según el tamaño (CITu%).

Tabla 7. Cuadrados medios y significación del ANOVA para el número de tallos por metro cuadrado (NTam²), número de tubérculos por planta (NTuP), peso promedio de tubérculo (PCTu), rendimiento por planta (RtoP), clasificación de los tubérculos (%CITu) de semilla básica del grupo andigena.

FV	GL	NTam ²	NTuP	PCTu (g)	RtoP (Kg)	CLASIFICACIÓN DE TÚBERCULOS (%)		
						TuMG	TuSem	TuMP
REP	2	95.45	88.47	498.21	0.07	7.79	0.96	19.83
DEN	2	59.41 **	11.25	543.16	0.16	1.77	0.96	4.20
REP*DEN	4	8.18	1.40	136.95	0.04	12.71	19.74	9.69
GEN	5	12.59*	650.33**	22873.23**	0.71**	930.88**	533.71**	224.54**
DEN*GEN	10	1.84	6.88	325.12	0.05	7.43	17.39	7.21
ERROR	30	3.73	28.33	211.68	0.10	6.62	9.15	5.69
R ²		0.79	0.81	0.95	0.62	0.97	0.91	0.89
C.V %		16.85	21.61	15.32	15.99	30.93	3.63	26.39
Media		11.46	24.62	95.00	1.93	8.32	83.31	9.04

**=Diferencias altamente significativas (p≤0,01), * = Diferencias significativas (p≤0,05), sin * = sin diferencias estadísticas significativas.

Tabla 8. Cuadrados medios y significación del ANOVA para el número de tallos por metro cuadrado (NTam²), número de tubérculos por planta (NTuP), promedio de tubérculo (PCTu), rendimiento por planta (RtoP), clasificación de los tubérculos (CITu%) de semilla registrada del grupo andigena.

FV	GL	NTam ²	NTuP	PCTu (g)	RtoP (Kg)	CLASIFICACIÓN DE TÚBERCULOS %		
						TuMG	TuSem	TuMP
REP	2	0.04	40.53	177.20	0.54	20.60	74.14	16.8
DEN	2	39.32**	27.35	71.55	0.40	7.80	20.38	7.27
REP*DEN	4	0.70	5.55	19.52	0.12	11.8	36.40	7.97
GEN	4	36.06**	311.84**	46590.20**	1.02**	2452.64**	2018.41**	111.37**
DEN*GEN	8	2.81	5.64	282.7	0.13	19.16	22.52	23.18
ERROR	24	0.90	7.86	319.22	0.076	14.54	17.49	18.49
R ²		0.92	0.88	0.96	0.81	0.80	0.95	0.62
C.V %		12.78	15.40	13.12	12.73	25.88	5.43	52.02
Media		7.42	18.20	136.2	2.16	14.73	76.99	8.27

**=Diferencias altamente significativas (p≤0,01), * = Diferencias significativas (p≤0,05), sin * = sin diferencias estadísticas significativas. Los datos de PCTu y TuMG fueron transformados √X

En todas las variables analizadas se observaron diferencias estadísticas significativas para el factor genotipo y solo en la variable NTam², se presentaron diferencias para el factor densidad de siembra. Las interacciones entre el comportamiento de los dos factores no presentaron diferencias estadísticas.

- **Número de tallos por metro cuadrado (NTam²).**

Esta variable en las dos categorías de semilla osciló entre 13,27 tall.m⁻² con una densidad de 44.444 pl.ha⁻¹ y 9,64 tall.m⁻² con 36.364 pl.ha⁻¹ en semilla básica y entre 9,16 tall.m⁻² con una densidad de 33.333 pl.ha⁻¹ y 5,95 tall.m⁻² con 23.809 pl.ha⁻¹, en semilla registrada (Tabla 9).

A nivel de la semilla básica, el mayor NTm² se obtuvo con la densidad de 44.444 pl.ha⁻¹ (13,27 tall.m⁻²) la cual presentó diferencias estadísticas con respecto a las otras dos densidades; la densidad de 40.000 pl.ha⁻¹ mostró un NTm² (11,47 tall.m⁻²) estadísticamente superior al NTm² logrado con la densidad de 36.364 pl.ha⁻¹ (9,64 tall.m⁻²) (Tabla 9).

Con respecto al comportamiento de la semilla registrada, el mayor NTm² lo logró la densidad 33.333 pl.ha⁻¹ (9,16 tall.m⁻²) presentando diferencia estadística con la densidad 27.777 pl.ha⁻¹ mostró un NTam² de 7,15 tall.m⁻² estadísticamente superior a la densidad de 23.809 pl.ha⁻¹ con 5,95 tall.m⁻² (Tabla 9).

Tabla 9. Prueba de comparación de medias de Tukey factor densidad de siembra para las variable número de tallos por metro cuadrado (NTam²) en semilla básica y registrada del grupo

Semilla básica		Semilla registrada	
DENSIDAD (pl.ha ⁻¹)	NTam ²	DENSIDAD (pl.ha ⁻¹)	NTam ²
44444	13.27 ^{*a}	33333	9.16 ^a
40000	11.47 ^b	27777	7.15 ^b
36364	9.64 ^c	23809	5.95 ^c

* Letras distintas indican diferencia significativa p≤0.05

En las dos categorías de tubérculo semilla los resultados mostraron un efecto directamente proporcional, a mayor densidad de siembra, mayor NTm², debido al número de tubérculos semillas por metro cuadrado.

Al respecto, INIA (2016) afirma que la densidad de siembra a utilizar depende principalmente del objetivo productivo y del genotipo a utilizar. La densidad de siembra incide directamente en el número de tubérculos que se van a producir por unidad de superficie. Por lo tanto, en la medida que se incrementa la densidad de siembra se incrementa la producción de tallos por hectárea y en consecuencia se incrementa el número de tubérculos por hectárea.

Los resultados concuerdan con Almeida *et al.* (2018) que evaluaron bajo diferentes densidades de siembra el NTm² en la variedad Angola, encontrando 17,29, 12,82, 12,73 y 10,67 tall.m⁻² a densidades de 76.923 pl.ha⁻¹, 55.555 pl.ha⁻¹, 45.454 pl.ha⁻¹ y 37.037 pl.ha⁻¹, respectivamente. Igualmente, coinciden con Bani *et al.* (2018) que concluyeron que el NTm² de la variedad Spunta aumentó a mayor densidad de siembra. Almeida *et al.* (2018) mencionan que el NTm² es un indicador morfoproductivo que define los resultados finales del cultivo, por la relación directa que existe entre el número de tallos y la producción de tubérculos que contribuyen al rendimiento final.

Otros autores como Masarirambi *et al.* (2012) mencionan que la densidad de población tiene influencia muy significativa en el desarrollo posterior de los tallos secundarios. Además, el espacio limitado para la raíz y la expansión tubérculo genera reducción del número de tallos y el desarrollo de tallos secundarios en las altas densidades (Wurr *et al.*, 1974).

En el factor genotipo a nivel de semilla básica, el mayor NTm² fue para Pastusa Suprema (13,39 tall.m⁻²), mostró diferencias estadísticas al compararse con Diacol Capiro (10,18 tall.m⁻²), mientras que los genotipos Pastusa Suprema, Roja Nariño (12,35 tall.m⁻²), Ica

Unica (11,11 tall.m⁻²), Pastusa Superior (11,96 tall.m⁻²) y Parda Pastusa (10,78 tall.m⁻²), no mostraron diferencias estadísticas (Tabla 10).

Los resultados encontrados en la presente investigación superan a los reportados por los siguientes autores: Wróbel (2015) al evaluar el número de tallos de minituberculos (15 - 30 mm de diámetro) en los cultivares Adam, Quincy y Tajfun que oscilaron entre 1,1 y 2,5 tallos por planta; Según Farran y Mingo Castel (2006) los minituberculos tienen una tendencia similar a producir uno y con menos frecuencia, dos tallos; Ranalli (1997) observó que en los minitubérculos normalmente domina un ojo apical, por lo que el número de tallos puede ser menor que en el caso de un tamaño normal de semilla de papa. La variación encontrada puede ser explicada porque el NTam² depende del genotipo y del estado fisiológico del tubérculo semilla, al momento de siembra (Seminario *et al.*, 2017).

Tabla 10. Prueba de comparación de medias de Tukey para las variables número de tallos por metro cuadrado (NTam²), número de tubérculos por planta (NTuP), peso promedio de tubérculo (PCTu), rendimiento por planta (RtoP), porcentaje de clasificación de los tubérculos (CITu%) de semilla básica del grupo andigena.

GENOTIPO	NTam ²	NTuP	PCTu (g)	RtoP (Kg)	CLASIFICACIÓN DE TÚBERCULOS (%)		
					TuMG	TuSem	TuMP
Diacol Capiro	10.18 ^{* b}	17.33 ^c	113.99 ^b	1.87 ^{bc}	8.8 ^b	85.56 ^b	5.20 ^c
Pastusa Superior	10.96 ^{ba}	27.97 ^b	60.17 ^{de}	1.69 ^c	1.78 ^c	88.10 ^{ba}	9.89 ^b
Parda Pastusa	10.78 ^{ba}	37.23 ^a	44.88 ^e	1.61 ^c	0.88 ^c	80.89 ^c	18.11 ^a
Pastusa Suprema	13.39 ^a	25.06 ^b	77.02 ^{dc}	1.92 ^{bac}	4.10 ^{bc}	86.44 ^{ba}	9.44 ^b
Roja Nariño	12.35 ^{ba}	27.02 ^b	88.09 ^c	2.18 ^{ba}	2.29 ^c	90 ^a	7.78 ^b
Ica Unica	11.11 ^{ba}	13.13 ^c	185.84 ^a	2.34 ^a	28.33 ^a	68.89 ^d	3.51 ^c

* Letras distintas indican diferencia significativa p≤0.05

En el comportamiento de la semilla registrada, el NTm² para Diacol Capiro (10,74 tall.m⁻²), presentó diferencias estadísticas con Pastusa Superior (7,68 tall.m⁻²), Parda Pastusa (6,85 tall.m⁻²), Pastusa Suprema (6.01 tall.m⁻²) e Ica Unica (5.80 tall.m⁻²); los genotipos Pastusa Superior y Parda Pastusa no presentaron diferencias entre sí, al igual que Pastusa Suprema e Ica Unica (Tabla 11). Los resultados obtenidos pueden deberse al tamaño de la semilla utilizada (51-90 mm de diámetro) que presentaron alrededor de 3-4 brotes. Al respecto, Masarirambi *et al.* (2012) evaluaron el tamaño de la semilla en el desarrollo de tallos

principales encontraron que los tubérculos pequeños produjeron menos tallos por planta en comparación a los grandes y muy grandes.

En este caso, al igual que lo observado en la semilla básica, los resultados superan a los reportados por Rodríguez *et al.* (2016) para el genotipo Diacol Capiro con 4.67 tallos por planta, que puede deberse a la diferencia inicial del número de brotes de la semilla y a la viabilidad por emerger hacia la superficie del suelo afectados por factores bióticos o abiótico.

Los resultados encontrados concuerdan con Valbuena *et al.* (2010) que evaluaron el crecimiento de Diacol Capiro en el departamento de Nariño, encontraron durante todo el ciclo un promedio de 4 tallos principales por planta. También coinciden con los reportados por Jerez *et al.* (2012) en la variedad Spunta con valores promedio entre 3.5 y 4.3 tallos por planta y afirman que esta variable puede tener efecto en el número de tubérculos y por ende en el rendimiento.

Tabla 11. Prueba de comparación de medias de Tukey para las variables número de tallos por metro cuadrado (NTam²), número de tubérculos por planta (NTuP), peso promedio de tubérculo (PCTu), rendimiento por planta (RtoP), clasificación de los tubérculos (ClTu%) de semilla registrada del grupo andigena.

GENOTIPO	NTam ²	NTuP	PCTu (g)	RtoP (Kg)	CLASIFICACIÓN DE TÚBERCULOS (%)		
					TuMG	TuSem	TuMP
Diacol Capiro	10.74 ^a	15.82 ^b	120.04 ^b	1.88 ^b	6.22 ^{cb}	87.40 ^a	6.22 ^b
Pastusa Superior	7.68 ^b	18.96 ^b	112.04 ^b	2.09 ^b	9.33 ^b	84.32 ^{ba}	6.56 ^b
Parda Pastusa	6.85 ^{cb}	26.72 ^a	73.07 ^c	1.93 ^b	3.78 ^c	81.83 ^{ba}	14.22 ^a
Pastusa Suprema	6.01 ^c	18.99 ^b	115.40 ^b	2.18 ^b	10.44 ^b	80.82 ^b	8.67 ^{ba}
Ica Unica	5.80 ^c	10.51 ^c	260.47 ^a	2.73 ^a	43.89 ^a	50.59 ^c	5.67 ^b

^a Letras distintas indican diferencia significativa $p \leq 0.05$

- **Número de tubérculos por planta (NTuP).**

En semilla básica, el mayor NTuP lo presentó Parda Pastusa (37,23 tu.pl⁻¹) indicando diferencias estadísticas con respecto a los cuatro genotipos; Pastusa Superior (27,97 tu.pl⁻¹),

Roja Nariño (27,02 tu.pl⁻¹) y Pastusa Suprema (25,06 tu.pl⁻¹) fueron estadísticamente iguales y superiores a Diacol Capiro (11,33 tu.pl⁻¹) e Ica Unica (13,13 tu.pl⁻¹) (Tabla 10).

En la semilla registrada, el mayor NTuP lo obtuvo Parda Pastusa (26.72 tu.pl⁻¹) presentando diferencias estadísticas con los demás genotipos; Diacol Capiro, Pastusa Superior, Pastusa Suprema no presentaron diferencias con promedios que oscilaron entre 15.82 y 18.99 tu.pl⁻¹ y estadísticamente superiores a Ica Unica con 10.51 tu.pl⁻¹ (Tabla 11).

Según los resultados obtenidos, se puede decir que Parda Pastusa al tener una alto IAF, permitió desarrollar un buen número de tubérculos, debido a la alta disponibilidad de hidratos de carbono y fotoasimilados que fueron desplazados a los estolones para la formación de tubérculos.

El NTuP de los genotipos Diacol Capiro, Pastusa Superior y Pastusa Suprema coinciden con los registrados por Betancouth *et al.* (2008) donde los genotipos evaluados no presentaron diferencias estadísticas con 17,25 tu.pl⁻¹ para Blanca, 17,42 tu.pl⁻¹ Parda Suprema, 17,11 tu.pl⁻¹, Roja Loca y 11.39 tu.pl⁻¹ Guata Roja. Así mismo, con los encontrados por Romero *et al.* (2017) que reportaron 22 tu.pl⁻¹ para Perla Negra y 15 tu.pl⁻¹ Diacol Capiro.

- **Peso promedio de tubérculo (PCTu).**

En la categoría de semilla básica, el mayor PCTu lo presentó Ica Unica con 185,84 g mostrando diferencias estadísticas con el resto de los genotipos; Diacol Capiro (113,99 g) estadísticamente superior a Roja Nariño (88,09 g); Pastusa Suprema (77,02 g) y Pastusa Superior (60,17 g) no mostraron diferencias estadísticas y superiores a Parda Pastusa (44,88 g) (Tabla 10). Los valores registrados para Pastusa Suprema, Roja Nariño y Diacol Capiro se encuentran dentro de los rangos encontrados por Bani *et al.* (2018) para la variedad Spunta con pesos que oscilan entre 77,02 y 115,84 g.

Por otro lado, en la categoría de semilla registrada, el mayor PCTu también lo presentó Ica Unica con 260.47g estadísticamente superior a los genotipos Diacol Capiro (120,04 g), Pastusa Suprema (115.40 g) y Pastusa Superior (112.04 g) que no mostraron diferencias entre si y estadísticamente superiores a Parda Pastusa (73.07 g) (Tabla 11).

Los valores encontrados en la presente investigación superan los encontrados por Ríos *et al.* (2010) y Londoño y Vélez (1996) al evaluar el peso promedio de los tubérculos en la variedad Diacol Capiro que fue de 61 g, situación que puede estar controlada por los factores genéticos, la altura de la investigación y por las condiciones químicas de los suelos.

- **Rendimiento por planta (RtoP).**

La prueba de Tukey (Tabla 7) para el rendimiento de semilla básica indicó que Ica Unica (2,34 kg.pl⁻¹), Roja Nariño (2,18 kg.pl⁻¹) y Pastusa Suprema (1,92 kg.pl⁻¹) no presentaron diferencias estadísticas, pero si mostraron diferencias estadísticas superiores a Diacol Capiro (1,88 kg.pl⁻¹), Pastusa Superior (1.69 kg.pl⁻¹) y Parda Pastusa (1.61 kg.pl⁻¹), los cuales no mostraron diferencias entre sí.

El RtoP en semilla registrada, la prueba de Tukey (Tabla 8) indicó Ica Unica (2.73 kg.pl⁻¹) fue estadísticamente superior al resto de genotipos, Diacol Capiro (1.88 kg.pl⁻¹), Parda Pastusa (1.93 kg.pl⁻¹), Pastusa Superior (2.09 kg.pl⁻¹) y Pastusa Suprema (2.18 kg.pl⁻¹), los cuales no mostraron diferencias estadísticas.

En general los genotipos mostraron un buen RtoP, que fue el resultado del crecimiento y desarrollo bajo condiciones adecuadas de producción de semilla, tuvieron un tratamiento preventivo de manejo en plagas y enfermedades, fertilización acorde al análisis de suelo y labores culturales al tiempo requerido. Cabe aclarar que los altos RtoP que correspondieron a los genotipos Ica Unica, Pastusa Superior y Diacol Capiro presentaron un alto IAN lo cual confirman una mayor eficiencia fotosintética y buena productividad.

En particular Ica Unica, aunque presentó un número bajo de tubérculos, presentó un alto rendimiento, que se debe a las características propias del genotipo al producir tubérculos grandes muy superiores a los demás genotipos estudiados (Tabla 11).

Estos resultados superan a los de Jerez *et al.* (2012) que encontraron valores de rendimiento para la variedad Spunta de 1 kg.pl^{-1} , atribuido a limitaciones encontradas a nivel de campo, de genotipo y a los factores meteorológicos que regulan los procesos de transpiración, fotosíntesis y respiración.

Igualmente son superiores a los obtenidos por Rodríguez *et al.* (2016) que reportaron un RtoP bajo invernadero para Diacol Capiro, Esmeralda y Suprema de 0.56, 0.42 y 0.28 kg.pl^{-1} , respectivamente, bajo las mismas condiciones Romero *et al.* (2017) en Cundinamarca alcanzó un RtoP para Diacol Capiro de 0.52 kg y para Perla Negra de 0.53 kg.pl^{-1} , diferencias que pueden atribuirse al crecimiento de los genotipos en condiciones no optimas de temperatura, humedad relativa, en contenedores plásticos, los cuales no permitieron una buena exploración de la raíces y crecimiento de estolones.

Martínez y Ligarreto (2005) al evaluar el comportamiento agronómico de los clones de papa, clon 1 (ICA Puracé x Bogotá), clon 2 (Perricholi x Rosita) y el clon 14 (introducción del Centro Internacional de la Papa – CIP), clon 7 y 9 (genealogía desconocida) establecidos en siete departamentos de Colombia, entre ellos Nariño (Guachucal) encontraron un RtoP de 0.80 kg a 1.17 kg.pl^{-1} , valores cercanos a los encontrados en semilla básica para los genotipos Pastusa Superior y Parda Pastusa.

Wróbel (2015) en el norte de Polonia estudio el rendimiento de los cultivares Adam, Quincy y Tajfun con semilla tradicional de un tamaño de 35 – 55 mm de diámetro y con minituberculos de 15 – 30 mm diámetro; se encontró un mayor rendimiento en la semilla tradicional (1 kg.pl^{-1}) e inferior en los minituberculos (0.78 kg.pl^{-1}). Lo anterior, como lo mencionan muchos autores en la producción de semilla se debe a que tubérculos más grandes producen más tallos y generalmente mayor cosecha que los tubérculos pequeños

debido posiblemente a una mayor reserva de los tubérculos tradicionales con relación a los minitubérculos (Wróbel, 2015; Masarirambi *et al*, 2012).

- **Clasificación de tubérculos en porcentajes.**

Semilla básica. La prueba de comparación de medias (Tabla 10) indicó que el mayor porcentaje TuMG fue para Ica Unica (28,33%) con diferencias estadísticas al compararse con los demás genotipos; Diacol Capiro con un 8,8% de TuMG fue estadísticamente superior a Pastusa Suprema (4,10 %), Roja Nariño (2,29), Pastusa Superior (1,78%) y Parda Pastusa (0,88%), estos últimos sin diferencias estadísticas entre sí. El genotipo Roja Nariño con 90% presentó mayor porcentaje de TuSem que Diacol Capiro (85,56%), Parda Pastusa (80,89%) e Ica Unica (68,89%) y fue igual estadísticamente que Pastusa Superior (88,10%), Pastusa Suprema (86,44). El porcentaje de TuMP fue mayor para Parda Pastusa (18,11%) mostrando diferencias estadísticas con respecto a los demás genotipos; Pastusa Superior, Pastusa Suprema y Roja Nariño no presentaron diferencias estadísticas entre sí, con porcentajes que oscilaron entre 7,78 y 9,89 % estadísticamente superiores a Diacol Capiro e Ica Unica con 5,20 y 3,51%, respectivamente.

Semilla registrada. La prueba de comparación de medias (Tabla 11) mostró que el mayor porcentaje de TuMG lo presentó Ica Unica (43,89%) con diferencias estadísticas al compararse con los cuatro genotipos; Pastusa Suprema (10,44%), Pastusa Superior (9,33) y Diacol Capiro (6,22%), no presentaron diferencias estadísticas y Diacol Capiro y Parda Pastusa (3,78%) fueron estadísticamente similares. El mayor porcentaje de TuSem lo presentó Diacol Capiro (87,40%) sin diferencias estadísticas con Pastusa Superior (84,32%) y Parda Pastusa (81,83%), superando el porcentaje de Pastusa Suprema (80,82%) e Ica Unica (50,59%). El mayor porcentaje de TuMP lo presentó Parda Pastusa (14,22%) sin diferencias estadísticas con Pastusa Suprema (8,67%) y estadísticamente superior con Pastusa Superior (6,56%), DC (6,22%) e Ica Unica (5,67%), las cuales no mostraron diferencias estadísticas.

Lo anterior indica que todos los genotipos a excepción de Ica Unica, presentaron una alta producción de semilla (TuSem) con valores medios de 83,31% en categoría básica y de 76,99% en categoría registrada, valores que pueden ser atribuidos a la parte genética y su aclimatación a las condiciones medioambientales presentadas durante el periodo experimental, al material de siembra fisiológicamente joven y de calidad utilizado y a la protección preventiva con la combinación de plaguicidas y prácticas de labores culturales adecuadas, afirmaciones que concuerdan con el Centro internacional de la papa, 2013.

Además, el control de tamaño se puede explicar por el corte de rama, que permitió acelerar la madurez de los tubérculos, la adecuada preparación del suelo que permitió un buen control de malezas y acumulación de agua en el perfil, que es importante para las primeras etapas de crecimiento y la fertilización con base en el análisis de suelo con aplicaciones en bajos contenidos de fósforo, elemento que incrementa el rendimiento de tubérculos grandes y su peso específico (CIP, 2013; IPNI, 2007).

Bani *et al.* (2018) afirma que la densidad de siembra tiene un efecto significativo en el tamaño de los tubérculos y encontraron que para la variedad Spunta la mayor densidad de siembra (83.000 pl. ha⁻¹) produjo mayor cantidad de tubérculos medianos (81 – 120 g) y pequeños (< 80g); por el contrario la producción de tubérculos grandes (>120 g), lo cual puede atribuirse a la competencia entre las plantas por nutrientes y factores de crecimiento. Lo anterior concuerda con Getachew *et al.* (2013) quienes reportan un mayor número de tubérculos pequeños a menores distancias entre plantas, mientras que a mayores el número de tubérculos pequeños fue menor.

Bani *et al.* (2018) observaron que en altas densidades existe un deterioro cualitativo en los tubérculos, que podría deberse a un aumento de la humedad, donde se crea un ambiente propicio para el desarrollo de enfermedades; esta situación no se presentó en la actual investigación, pero hay que tenerla en cuenta para la producción de semilla.

Los resultados del porcentaje de TuSem se encuentran dentro de los rangos reportados por INIA (2016) en Chile para el cultivar patagonia-inia con valores de 77%, 85%, 90% y 92% bajo las siguientes densidades de siembra 26.000, 40.000, 53.000 y 66.000 pl.ha⁻¹, respectivamente; es evidente que al aumentar las densidades de siembra la producción de tubérculos semilla es mayor.

Por otro lado, los resultados superan a los de Jerez *et al.* (2017) que analizaron la distribución del porcentaje del número de tubérculos por tamaño, respecto al total de tubérculos por planta para la variedad Romano, registrando que a los 60 dds se obtuvo un 65% de tamaño óptimo para utilizar como semilla en próximas siembras y que esto puede ser atribuido al uso preventivo de productos biológicos para activar resistencia innata. Además, también podría deberse a la amplitud térmica observada durante la fase experimental.

4.1.4. Análisis de sendero

El análisis de correlación mostró que la variable NTuP (0.45) fue la que más se asocia con el rendimiento de semilla, es la variable responsable que los rendimientos sean mayores (Tabla 12). El análisis de sendero que indica la descomposición de las correlaciones entre las variables número de tallos por metro cuadrado (NTam²), número de tubérculos por planta (NTuP), número de tubérculos muy grandes (TuMG), número de tubérculos muy pequeños (TuMP) e índice de asimilación neta (IAN) con el rendimiento de semilla (RtoSem) (Tabla 8).

Además, el análisis de sendero permitió establecer los efectos directos y efectos indirectos que afectan la productividad. La variable que tuvo mayor efecto directo sobre el RtoSem fue NTuP con coeficiente de sendero de 1,63, en una menor proporción el IAN con 0,48 y TuMG con 0,44. Por otro lado, los TuMP y el NTam² presentaron un efecto directo con coeficientes de sendero de -1,01 y -0,16, respectivamente.

Con base en lo anterior, se concluye que el NTuP está relacionado directamente con el RtoSem, por ejemplo PP, PSup, DC fueron genotipos que mayor número de tubérculos presentaron con 26,72, 18,96 y 15,82 tu.pl⁻¹, respectivamente y tuvieron los mayores RtoSem con 81,83, 84,32 y 87,40%, respectivamente.

Lo anterior se encuentra en concordancia con investigaciones realizadas por Lemaga y Caesar (1990), Betancout *et al.* (2008) Abrha *et al.* (2014) y Porras y Brenes (2015) quienes demostraron que el número de tubérculos fue el mejor factor para determinar el rendimiento de tubérculos con altas correlaciones.

Tabla 12. Análisis de sendero para el rendimiento de semilla registrada de genotipos del grupo andigena.

	NTPm²	NTuP	TuMG	TuMP	IAN	RtoSem
NTPm²	-0.16	-0.18	-0.23	0.20	0.27	-0.10
NTuP	0.02	1.63	-0.24	-0.80	-0.15	0.45
TuMG	0.08	-0.89	0.44	0.40	-0.15	-0.11
TuMP	0.03	1.30	-0.17	-1.01	-0.22	-0.07
IAN	-0.09	-0.51	-0.13	0.46	0.48	0.20

Los efectos directos resaltados en negrita.

Fuente: esta investigación

Las variables TuMG y TuMP mostraron un efecto indirecto significativo sobre el RtoSem presentando valores de -0,89 y 1,30, respectivamente a través de la variable NTuP. De acuerdo a lo anterior se concluye que existe un efecto inversamente proporcional entre TuMG y NTuP, es decir si disminuye los tubérculos muy grandes el número de tubérculos por planta tiende a aumentar, caso contrario se presenta entre TuMP y NTuP, donde existe un efecto directo, que al aumentar los tubérculos pequeños el número de tubérculos por planta también aumentará. Es así como Lynch *et al.* (2001) menciona que el rendimiento de papa es la suma de número de tubérculos y el tamaño de éstos por plata, y está determinado por el genotipo, el ambiente y su interacción (Milton y Allen, 1995).

4.2. GRUPO PHUREJA

4.2.1. Fenología y requerimientos térmicos

Durante este ciclo de evaluación, se registró una temperatura máxima promedio de 16,6°C, una mínima promedio de 8,8°C y un total de grados día (GD) promedio de 6,7°C. Con base en lo anterior, se determinó la acumulación térmica para el cumplimiento de los estados fenológicos para Criolla Dorada (CD), Criolla Colombia (CC), Ratona Morada (RM) y Tornilla Blanca (TB) (Figura 11).

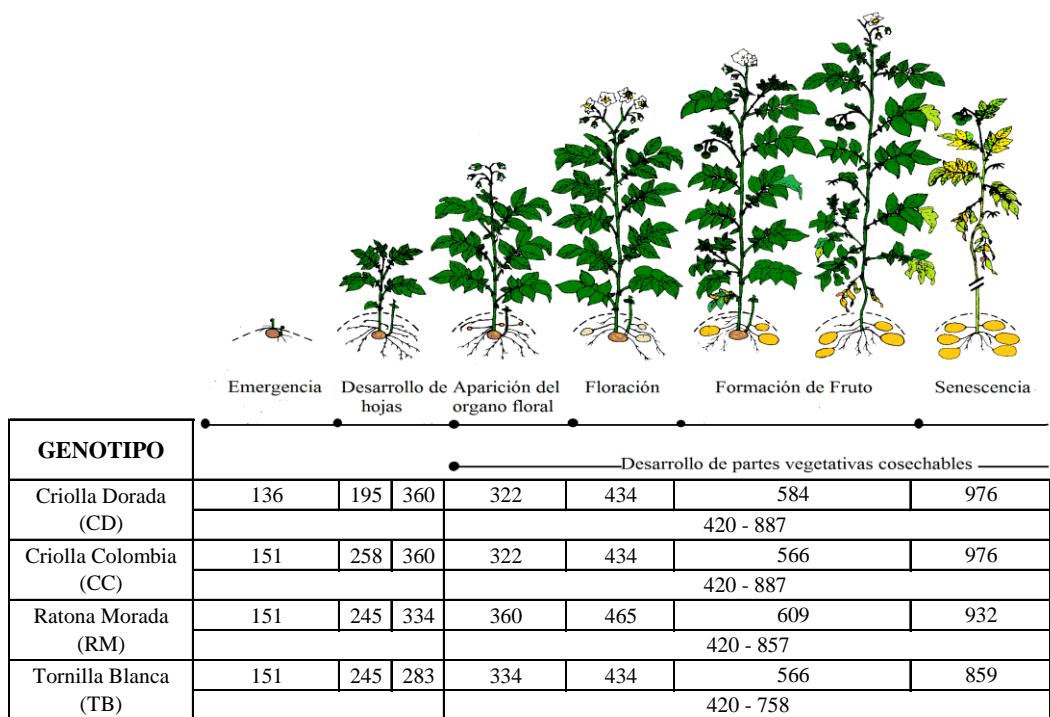


Figura 11. Grados días (GD) requeridos para alcanzar los principales estados fenológicos de los genotipos Criolla Dorada (CD), Criolla Colombia (CC), Ratona Morada (RM), Tornilla Blanca (TB).

Fuente: Modificada de Hack *et al.*, 1993.

- **Emergencia.**

La emergencia para Criolla Dorada requirió de 136 GD (19 dds) y para Criolla Colombia, Ratona Morada y Tornilla Blanca de 151 GD (21 dds) (Figura 11). La emergencia se presentó de manera simultánea en los genotipos Criolla Colombia, Ratona Morada y Tornilla Blanca, lo cual pudo estar influenciada por el punto de crecimiento del brote, ausencia de dormancia que permitió mayor uniformidad en su brotación (Rodríguez y Moreno, 2010) y la humedad presente en el perfil del suelo (Valbuena, *et al.* 2010)

Los resultados concuerdan con Santos (2010) que reportaron la emergencia de los cultivares C. Colombia, C. Galeras, C. Guaneña y C. Latina a una altura de 2.572 msnm a los 21 dds y a una altura de 2.859 msnm a los 28 dds. Igualmente son similares a los de Sánchez *et al.* (2005) que registraron el inicio de la emergencia en Criolla Colombia a los 15 dds, pero sólo hasta los 21 dds emergió el 50% de la población.

- **Desarrollo de hojas.**

La acumulación térmica para la aparición de la tercera hoja del tallo principal desplegada y mayor a 4 cm, se presentó en Criolla Dorada a los 195 GD (27 dds), Ratona Morada y Tornilla Blanca a los 245 GD (35 dds) y Criolla Colombia a los 258 GD (37 dds). La décima hoja del tallo principal desplegada y mayor a 4 cm ocurrió en Tornilla Blanca a los 283 GD (41 dds), en Ratona Morada a los 334 GD (50 dds) y en Criolla Dorada y Criolla Colombia a los 360 GD (55 dds) (Figura 11).

Sánchez *et al.* (2005) mencionan que, en las primeras semanas del cultivo, el desarrollo de las hojas es lento y a partir de los 65 dds es acelerado, hasta alcanzar un punto máximo a los 107 dds; posteriormente ocurre un descenso gradual hasta los 121 dds.

- **Formación de brotes laterales.**

Los grados día requeridos para alcanzar los tres brotes basales laterales con una longitud mayor a 5 cm fue de 360 GD (55 dds) en Ratona Morada y de 465 GD (69 dds) en Criolla Dorada, Criolla Colombia y Tornilla Blanca. Los valores superan a los encontrados por Santos (2010) que reporta la ocurrencia de este estado para C. Colombia, C. Galeras, C. Guaneña y C. Latina a los 76 dds (2.572 msnm) y a los 91 dds (2.859 msnm); la diferencia puede deberse a que el crecimiento vegetal es muy sensible a la temperatura, a menudo un cambio de pocos grados da lugar a un cambio significativo en la tasa de crecimiento (Azcón y Talón, 2013). Además, la investigación no tuvo en cuenta la temperatura media diaria o los grados día acumulados.

En esta fase fenológica, la planta emplea todas sus reservas y energías para la formación de estructuras fotosintéticamente activas y para el inicio y llenado del gancho del estolón, los cuales son procesos muy rápidos (Valbuena *et al.*, 2010).

- **Desarrollo de órganos vegetativos cosechables.**

La formación de tubérculos ocurrió a los 420 GD (63 dds) en los cuatro genotipos. Santos (2010) reportó el cumplimiento de esta fase en los cultivares C. Colombia y C. Galeras a los 46 dds y para C. Guaneña a los 53 dds, los datos difieren con el presente estudio posiblemente por la diferencia de alturas en las que se desarrollaron las investigaciones, que conllevaron diferencias en la temperatura de cultivo; sin embargo, los resultados concuerdan con los rangos de Bello y Pinzón (1997) que mencionan la formación de tubérculos a partir de los 51 dds hasta los 79 dds; los autores afirman que posteriormente continua un periodo de engrosamiento y diferenciación, que se caracteriza por un aumento acelerado en el peso y el tamaño de los tubérculos hasta la cosecha.

El genotipo Tornilla Blanca presentó la piel madura de los tubérculos a los 758 GD (113 dds), Ratona Morada a los 857 GD (128 dds) y Criolla Dorada y Criolla Colombia a los

887 GD (132 dds). Estos resultados concuerdan con Valbuena *et al.* (2010) quienes registraron la piel madura en la variedad Yema de Huevo a los 120 días.

- **Aparición del órgano floral.**

La aparición de la primera inflorescencia ocurrió a los 322 GD (48 dds) en los genotipos Criolla Dorada y Criolla Colombia, a los 334 GD (50 dds) en el genotipo Tornilla Blanca y a los 360 GD (55 dds) en Ratona Morada (Figura 11). Sánchez *et al.* (2005) mencionan que los primeros botones florales se observaron en *S. phureja* a los 44 dds, resultados cercanos a la presente investigación.

Los genotipos Criolla Dorada, Criolla Colombia y Tornilla Blanca alcanzaron el estado de floración a los 434 GD (65 dds) y Ratona Morada a los 465 GD (69 dds) (Figura 11). Estos resultados son inferiores a los de Valbuena *et al.* (2010) que reportaron el cumplimiento de esta fase en la variedad Yema de Huevo a los 74 dds, situación que puede deberse a que cada genotipo, por sus características propias, responde a las condiciones ambientales más favorables para florecer en el momento adecuado de su desarrollo (Azcón y Talón, 2013).

El fin de la floración se presentó cuando se alcanzó una acumulación térmica de 743 GD (111 dds) en Tornilla Blanca, de 859 GD (128 dds) en Ratona Morada y de 886 GD (132 dds) en Criolla Dorada y Criolla Colombia. Estos requerimientos fueron superiores a los encontrados por Santos (2010) donde el fin de la floración a una altura de 2.572 msnm ocurrió a los 98 dds para C. Latina, C. Guaneña, C. Galeras y C. Colombia y a una altura de 2.859 msnm se presentó a los 112 dds para C. Colombia y C. Latina y a los 118 para C. Guaneña y C. Galeras; la variación puede deberse a que la altitud y la temperatura juegan un papel importante en las etapas de desarrollo; es evidente que a mayor altura y menor temperatura las etapas fenológicas presentan una duración más larga.

La duración de la floración alcanzó los 25 GD en Tornilla Blanca, 56 GD en Ratona Morada, 74 GD en Criolla Dorada y 89 GD en Criolla Colombia. Los dos últimos

genotipos presentaron una floración profusa y de mayor duración, con requerimientos térmicos superiores a los nativos.

- **Formación de fruto.**

Las primeras bayas visibles se presentaron a los 566 GD (83 dds) en Criolla Colombia y Tornilla Blanca, a los 584 GD (86 dds) en Criolla Dorada y a los 609 GD (91 dds) en Ratona Morada. Después de este estado se observó que los genotipos Tornilla Blanca y Ratona Morada presentaron un desarrollo acelerado y abundante de frutos.

- **Senescencia.**

Esta etapa fenológica fue determinada cuando el 50% de las hojas y tallos presentaron un color verde pálido y perdieron su turgencia, sin llegar a color marrón hasta el momento de la cosecha. En el genotipo Tornilla Blanca, la senescencia se presentó con una acumulación térmica de 859 GD (128 dds), en Ratona Morada de 932 GD (139 dds) y en Criolla Dorada y Criolla Colombia de 976 GD (136 dds) (Figura 11). Los resultados concuerdan con Santos (2010) que registró la senescencia del cultivar C. Guaneña, cultivada a una altura de 2.859 msnm a los 133 dds.

En la actualidad, no existen referencias en Colombia de trabajos publicados sobre fenología de papa basada en la acumulación de grados día, en genotipos diploides (*Solanum phureja*) y nativos como Ratona Morada y Tornilla Blanca; sin embargo, existen algunos estudios que analizan las fases fenológicas en días después de la emergencia y después de la siembra, datos que presentan algunas diferencias con respecto al presente estudio, debido a las variaciones en el comportamiento climático que inciden en la velocidad de las reacciones.

Además, el registro de las etapas fenológicas en días es menos preciso, de ahí la importancia de considerar los grados día para su estudio, que no varían entre una zona y otra (Magdaleno *et al.*, 2014).

Existen estudios realizados en México por Sifuentes *et al.* (2015) y por Flores *et al.* (2014) sobre la predicción térmica en cultivares de *Solanum tuberosum* L spp *andigena*, que por sus condiciones de zona templada son apropiadas para determinar fertilización, riego y afectación de plagas y enfermedades; es necesario que en Colombia se amplíen este tipo de estudios con mira a prepararse para situaciones de cambio climático y para entender el comportamiento de especies domesticadas y nativas que podrían tener características adecuadas para futuros mejoramientos de la especie.

4.2.2. Crecimiento

El crecimiento para los cuatro genotipos del grupo phureja se determinó a una densidad de siembra de 33.333 pl.ha⁻¹, debido a que no se presentaron diferencias dentro de las densidades evaluadas. A continuación se muestran los resultados:

- **Altura de planta (AP).**

En la figura 12, se observa el comportamiento de altura de planta en función de la acumulación térmica; los genotipos mostraron un crecimiento exponencial hasta los 596 GD, posteriormente fue lento hasta alcanzar la mayor altura al acumular 758 GD. La altura para los genotipos fue registrada de mayor a menor así: Criolla Colombia (78,74 cm), Criolla Dorada (70,73 cm), Tornilla Blanca (64,19 cm) y Ratona Morada (56,67 cm). La dinámica del AP de Criolla Colombia y Criolla Dorada se ajustó al modelo polinómico de tercer grado, mientras que el de Tornilla Blanca y Ratona Morada se ajustó al modelo de Hoerl.

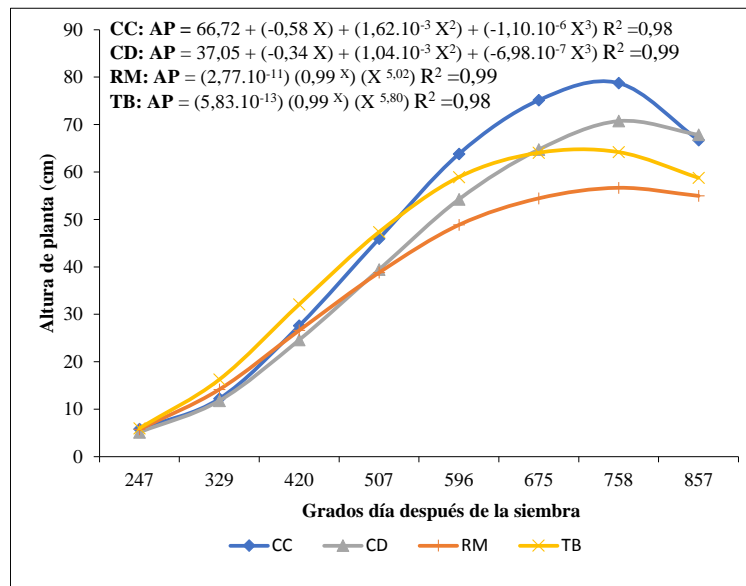


Figura 12. Dinámica del comportamiento de la altura de planta de los genotipos Criolla Colombia (CC), Criolla Dorada (CD), Ratona Morada (RM) y Tornilla Blanca (TB).

Fuente: Esta investigación.

Los resultados obtenidos concuerdan con Seminario *et al.* (2017) que evaluaron la AP de diecisiete cultivares del grupo phureja, mencionaron que las plantas eran pequeñas y midieron entre 56,5 y 94 cm; con Rojas y Seminario (2014) que encontraron alturas que oscilaron entre 61 y 83 cm; y con Tirado y Tirado (2018) que registraron en 20 clones una altura entre 43,93 y 70,60 cm, con un promedio de 58,43 cm.

- **Área foliar (AF).**

En la figura 13, se muestra el crecimiento del área foliar de los genotipos a través de la acumulación térmica a partir de la siembra. El AF creció gradualmente hasta llegar al máximo desarrollo que ocurrió a los 758 GD, con valores de 127,06 dm² para Criolla Dorada, 118,59 dm² para Criolla Colombia, 107,34 dm² para Ratona Morada y 79,60 dm² para Tornilla Blanca, posteriormente decrecieron. La tendencia de incremento de AF de los genotipos Criolla Colombia y Criolla Dorada se ajustó al modelo polinómico de tercer grado y de Tornilla Blanca y Ratona Morada al modelo de Hoerl.

Los resultados superaron a los reportados por Silva *et al.* (2017) en el altiplano de Pasto para la variedad C. Guaneña con un AF de 54 dm² alcanzada a los 60 y 80 dds; esta situación puede deberse a que el genotipo no se adaptó a las condiciones del cultivo y del experimento.

Valbuena *et al.*, 2010 y Santos, 2010, encontraron valores de AF de 166,21 dm² para la variedad Yema de Huevo, de 76 dm² en C. Colombia y de 147 dm² para C. Galeras, respectivamente; resultados que coinciden con los presentados en esta investigación. Igualmente, con investigaciones más recientes realizadas por Ariza (2017) en el Centro del país, bajo condiciones de invernadero, presentaron que el AF en los genotipos C. Colombia, C. Dorada y C. Ocarina no mostró diferencias significativas con un promedio de 88,26 dm² a los 68 dds.

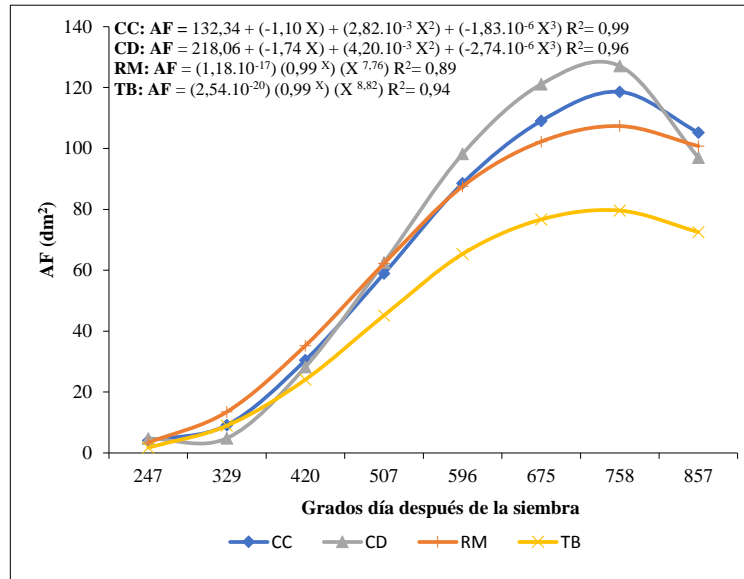


Figura 13. Comportamiento del área foliar (AF) por plantas de los genotipos Criolla Colombia (CC), Criolla Dorada (CD), Ratona Morada (RM) y Tornilla Blanca (TB).

Fuente: Esta investigación

- **Índice de área foliar (IAF).**

En la figura 14, se observa el IAF a través de los grados día después de la siembra; la tendencia fue de incremento hasta llegar al máximo valor a los 758 GD y posteriormente disminuye. El mayor IAF lo presentó Criolla Dorada con 4,23, debido a su mayor desarrollo de follaje, Criolla Colombia con 4,02, Ratona Morada con 3,62 y por último Tornilla Blanca con 2,70. La tendencia del IAF se ajustó para los genotipos Criolla Colombia y Criolla Dorada al modelo polinómico de tercer grado y para Tornilla Blanca y Ratona Morada al modelo de Hoerl.

Los genotipos nativos presentaron un IAF relativamente bajo al ser comparados con los genotipos comerciales, lo cual pudo deberse a la morfología de sus folíolos delgados y alargados y al presentar mayor número de tallos. Además, se observó durante la investigación que presentaron un hábito de crecimiento erguido al inicio del ciclo hasta la

floración y posteriormente tienden a volcarse, lo cual influye en la captación de luz y por ende en el proceso final de la formación del rendimiento.

Los resultados superan a los presentados por Silva *et al.* (2017) donde el IAF de la variedad C. Galeras aumentó entre los 60 y 80 dds con valor de 1,7, luego la tendencia disminuyó hasta el final del ciclo, situación que puede atribuirse a la fertilización a base de potasio utilizada ya que una disminución de este elemento puede ocasionar menor materia seca y AF.

Los valores de IAF coinciden con lo encontrado por Cabezas y Corchuelo (2005) que evaluaron en tres localidades colombianas (Firavitoba, Carmen de Carupa y Bogotá) el IAF de *S. phureja* y registraron valores que oscilaron entre 2,51 y 5,08.

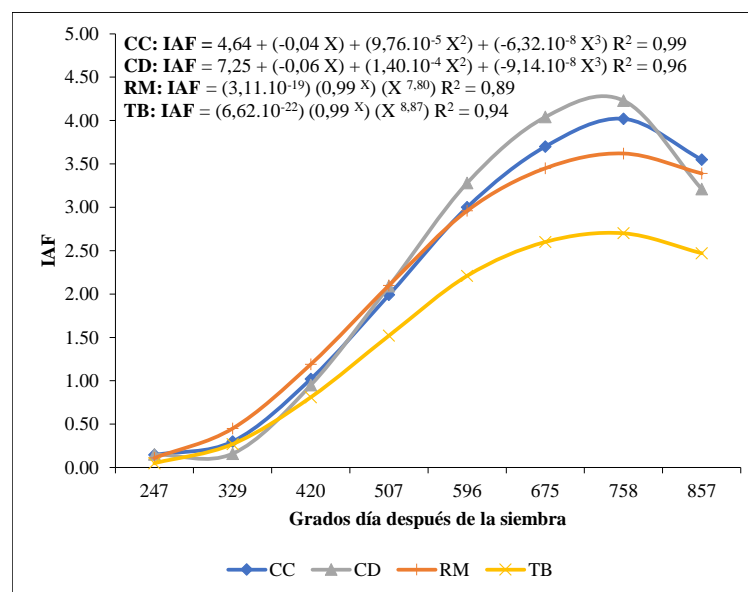


Figura 14. Comportamiento del índice de área foliar (IAF) por plantas de los genotipos Criolla Colombia (CC), Criolla Dorada (CD), Ratona Morada (RM) y Tornilla Blanca (TB).

Fuente: Esta investigación

- **Índice de asimilación neta (IAN).**

En la figura 15, se aprecia el índice de asimilación neta de los genotipos *S. phureja*, en función de los grados día después de la siembra, la dinámica del comportamiento del IAN de los genotipos fue variable y se ajustó al modelo polinómico de tercer grado.

La mayor eficiencia fotosintética observada al acumular entre 596 y 675, puede estar relacionada, principalmente con el hábito de crecimiento, con la formación de tubérculos, la edad de la hoja, la magnitud del área foliar, la disposición de las hojas, la longitud de los entrenudos y grado de ramificación de los genotipos (Azcón y Talón, 2013).

También este índice pudo estar influenciada por las condiciones de suelo, con un prolongado tiempo de descanso y con altos contenidos de materia orgánica que permitieron un buen desarrollo del sistema radicular y por ende un intercambio de nutrientes en la planta (Jiménez, *et al.* 2013).

Por otro lado, Santos (2010) menciona que el IAN depende de la radiación interceptada por el cultivo, la temperatura y la concentración de CO₂. La cantidad de radiación interceptada depende de la radiación incidente y del IAF; cultivares de papa con mayores valores de IAF tienen una tasa de crecimiento potencial de tubérculos superior a los cultivares con menor IAF.

La disminución del IAN después de alcanzar el máximo valor, indica que la capacidad fotosintética del dosel tiende a disminuir continuamente con el crecimiento y expansión del área foliar (Collins, 1977) y puede cesar en el momento en que las plantas alcanzan su máxima área foliar debido, principalmente, al sombreado que ocurre entre las hojas de los diferentes estratos del dosel lo cual ocasiona que la respiración tienda a ser mayor que la fotosíntesis (Moorby, 1970).

Los resultados concuerdan con Mora *et al.* (2006) que evaluaron el IAN en los genotipos Alpha, Norteña, C-771A11 y C-676014 encontraron valores entre 0,01 y 0,10 g cm⁻² d⁻¹ en la etapa vegetativa (7 a 14 dde), aumentó entre 0,17 – 0,30 g cm⁻² d⁻¹ al inicio de la tuberización (28 a 50 dde), osciló con valores de 0,21 - 0,57 g cm⁻² d⁻¹ durante la tuberización (57 a 64 dde) y a partir de los 70 dde disminuyó rápidamente hasta ser nula.

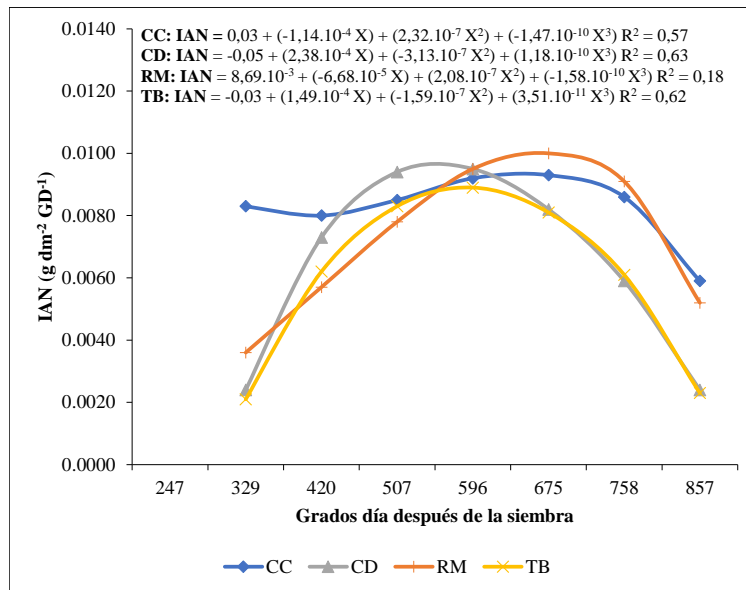


Figura 15. Comportamiento del índice de asimilación neta (IAN) por planta de los genotipos CC, CD, RM y TB.
Fuente: Esta investigación.

- **Índice de crecimiento relativo (ICR)**

En la figura 16, se aprecia los resultados del comportamiento del ICR a través de los grados día después de la siembra; cuando los genotipos alcanzaron una acumulación térmica de 329 GD, los valores oscilaron entre 0,0075 – 0,0113 g g⁻¹ °GD⁻¹, posteriormente al acumular entre 420 y 507 GD registran su máximo crecimiento relativo con 0,0094 g g⁻¹ GD⁻¹ para Tormilla Blanca, 0,0122 g g⁻¹ GD⁻¹ para Criolla Dorada, 0,0124 g g⁻¹ °d⁻¹ para Criolla Colombia y g g⁻¹ GD⁻¹ 0,0135 para Ratona Morada, finalmente los valores disminuyeron hasta la cosecha. Este comportamiento indica que presentaron un rápido crecimiento en la etapa inicial del ciclo de cultivo, relacionado con el desarrollo de hojas y

formación de brotes laterales permitiendo una rápida extensión del área foliar y una mayor intercepción de radiación fotosintéticamente activa.

Los valores registrados durante la evaluación, se ajustaron al modelo de Hoerl para Criolla Colombia y Ratona Morada, al modelo polinomial de tercer grado para Criolla Dorada y al modelo de Gaussian para Tornilla Blanca.

Datos similares fueron reportados por Santos (2010) que evaluó el ICR para C. Colombia, C. Galeras y C. Latina a una altura de 2.859 msnm con rangos que van desde 0,07 a 0,12 $\text{g}^{-1} \text{d}^{-1}$ a los 68 dds, momento en el cual comenzó a disminuir hasta alcanzar valores cercanos a cero a los 98 y 118 dds. Lo anterior se puede explicar porque las células jóvenes tienen una mayor capacidad de multiplicación de los recursos fotosintéticos y presentan un crecimiento en el volumen y por lo tanto en acumulación de materia seca, a medida que los tejidos envejecen son menos eficientes, la materia seca es menor y el resultado es una reducción en este índice.

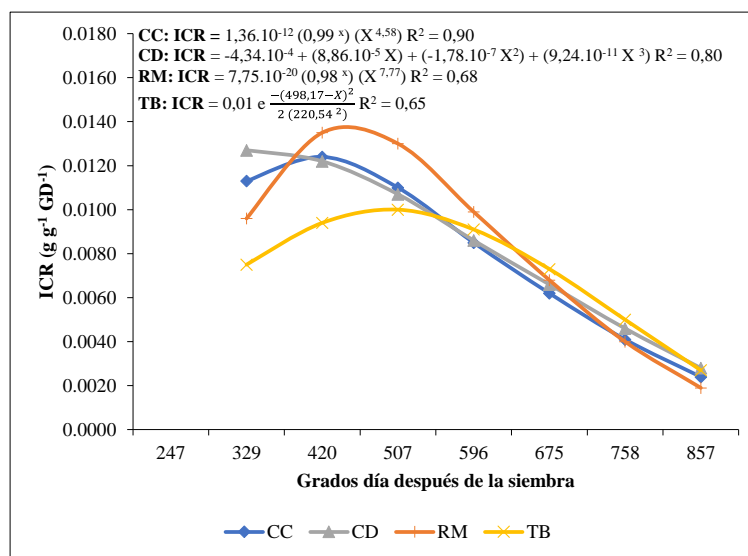


Figura 16. Comportamiento del índice de crecimiento relativo (ICR) por plantas de los genotipos Criolla Colombia (CC), Criolla Dorada (CD), Ratona Morada (RM) y Tornilla Blanca (TB).

Fuente: esta investigación.

- **Índice de crecimiento del cultivo (ICC)**

En la figura 17, se observa la dinámica del ICC a través de los grados días después de la siembra; los genotipos al alcanzar una acumulación térmica de 507 GD mostraron un crecimiento exponencial, luego asciende rápidamente a los 758, donde Criolla Dorada, Criolla Colombia y Ratona Morada obtuvieron el máximo valor de 0.0303, 0.0333 y 0.0354 $\text{g dm}^{-2} \text{GD}^{-1}$, respectivamente; y Tornilla Blanca al acumular 857 GD obtuvo su máximo valor ($0,0218 \text{ g dm}^{-2} \text{GD}^{-1}$), posteriormente el índice descende. Los valores del ICC a lo largo de ciclo se ajustaron al modelo de Gaussian para Criolla Colombia y Ratona Morada y de Hoerl para Criolla Dorada y Tornilla Blanca.

El valor máximo de ICC coincidió con el valor máximo de IAF (entre 2,7 y 4,02) que ocurrió a una acumulación térmica de 758 GD, punto donde la planta alcanza la máxima tasa de producción de materia seca e intercepta la máxima cantidad de luz aprovechable, debido al llenado de tubérculos. Las hojas bajas de la planta presentan un equilibrio entre la fotosíntesis y la respiración.

Estos resultados coinciden con los obtenidos por Mora, *et al.* (2006) quienes evaluaron el ICC en los genotipos C-771A11 y C-676014, que encontraron una cinética ascendente desde la emergencia hasta alcanzar el máximo valor (43 y 57 dde), posteriormente tendió a disminuir hasta ser nula. Igualmente, con Silva *et al.* (2010) que evaluaron el ICC en el genotipo C. Guaneña en donde el crecimiento del cultivo aumentó entre los 90 y 100 dds y luego decreció hasta el final del ciclo (120 dds).

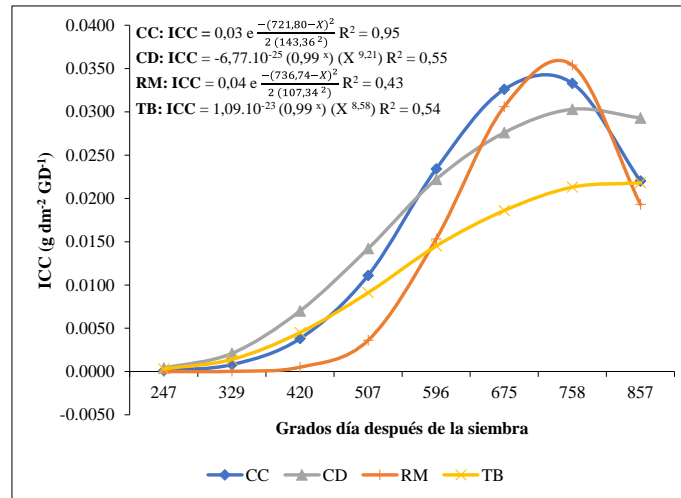


Figura 17. Comportamiento del índice de crecimiento del cultivo (ICC) por planta de los genotipos Criolla Colombia (CC), Criolla Dorada (CD), Ratona Morada (RM) y Tornilla Blanca (TB).
Fuente: Esta investigación

- **Materia seca total y su distribución en la planta.**

La materia seca total definida como un parámetro para caracterizar el crecimiento, aumentó gradualmente a medida que los genotipos acumularon grados día; a los 857 GD los genotipos registraron sus máximos valores: Criolla Dorada con 346.53, Criolla Colombia con 340.06 g, Ratona Morada con 302.88 g y Tornilla Blanca con 238.96 g por planta. La dinámica del comportamiento de materia seca total en la planta se ajustó al modelo de Gaussian para todos los genotipos.

El comportamiento registrado es similar al reportado por Saldaña *et al.* (2015) y Soto *et al.* (2018) donde encontraron crecimientos exponenciales en la materia seca total de planta para C. Colombia en las fases tempranas. Los autores mencionan que la materia seca está determinada principalmente por el índice de crecimiento relativo (ICR). Además, registran la máxima acumulación de biomasa entre los 800 y 900 GD, situación similar a la presente investigación.

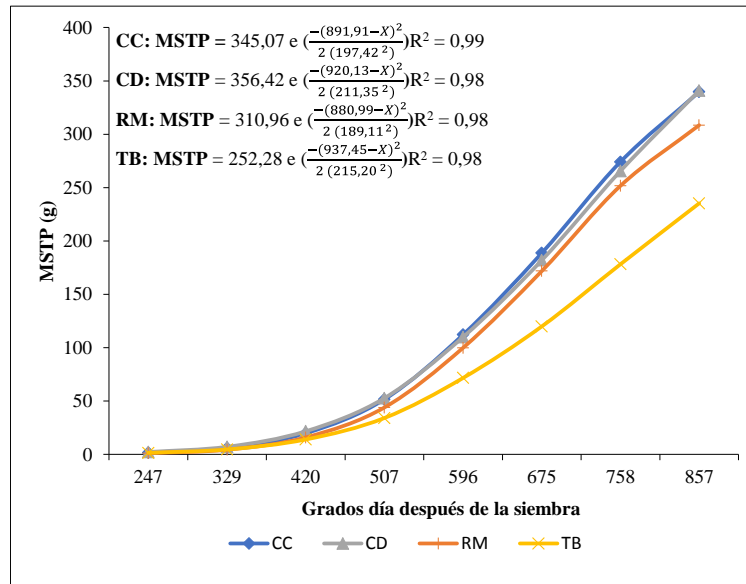


Figura 18. Dinámica del comportamiento de la materia seca total por planta (MSTP) de los genotipos Criolla Colombia (CC), Criolla Dorada (CD), Ratona Morada (RM) y Tornilla Blanca (TB).

Fuente: Esta investigación.

En cada uno de los diferentes periodos de acumulación térmica se evidenció el porcentaje de distribución de los órganos en la planta, con respecto a la biomasa total. En la figura 19, se aprecia que la distribución fue similar para los cuatro genotipos, a continuación, se describe para cada órgano:

Hojas. Los genotipos a una acumulación térmica de 329 GD presentaron el mayor porcentaje de materia seca de las hojas, con un promedio de 63%, posteriormente disminuye a lo largo del ciclo (Figura 19).

Tallos. Cuando los genotipos acumularon 247 GD, la distribución porcentual de materia seca de tallos osciló entre 9 y 11%, incrementándose hasta un acumulado de 596 GD con un promedio de 20% y luego decrece (Figura 19).

Estolones. La distribución porcentual de materia seca de estolones en los genotipos osciló entre 1 y 2 % y fue estable durante todo el ciclo (Figura 19); esto es explicable porque no

todos los estolones se convirtieron en tubérculos y la planta siguió produciendo como órgano de reserva (Soto *et al.*, 2018).

Raíz. El mayor porcentaje de materia seca de raíz se registró a una acumulación térmica de 247 GD con 42% en Ratona Morada, 41% en Tornilla Blanca, 39% en Criolla Dorada y 37 % en Criolla Colombia, posteriormente baja a lo largo del ciclo (Figura 19); es importante mencionar que las raíces de las especies nativas al inicio del ciclo realizan aportes significativos con porcentajes cercanos a los de las hojas.

Tubérculos. El aporte porcentual de materia seca por parte de los tubérculos inició a una acumulación térmica de 420 GD con 7 % en Criolla Colombia y Criolla Dorada, 6% en Ratona Morada y 2% en Tornilla Blanca, luego aumentó progresivamente hasta los 857 GD (Figura 19).

Flores. Los genotipos al acumular entre 420 y 675 GD, presentaron una distribución porcentual de materia seca de flores que osciló entre 1% y 2 % (Figura 19).

Frutos. El aporte porcentual de materia seca por parte de los frutos inició al acumular 596 GD en Criolla Colombia, mientras que para el resto de los genotipos se presentó a los 675 GD; su aporte se observó hasta el final del ciclo y fue mayor para Ratona Morada y Tornilla Blanca con 7% y 5%, respectivamente (Figura 19).

Los resultados de la distribución porcentual presentan mayores valores para las hojas, debido a que producen carbohidratos a través de la fotosíntesis; órganos de consumo y acumuladores conocidos como “dumping de los órganos” que requieren del producto de esta reacción para crecer y desarrollarse en raíces, estolones, flores, frutos y principalmente en tubérculos (Foyer y Paul. 2001). El llenado y la formación de tubérculos depende principalmente de la disponibilidad de asimilados previamente producidos en las hojas y tallos verdes acumulando azúcares en sus tejidos; los aspectos genéticos y las condiciones ambientales juegan un papel importante en este proceso (Mora *et al.*, 2005).

Los resultados fueron similares a los encontrados en Medellín (Antioquia) por Saldaña *et al.* (2015) que evaluaron el comportamiento de la distribución de la materia seca entre los órganos que conforman la variedad C. Colombia, encontraron en las primeras etapas de crecimiento al acumular 255 GD que las hojas aportaron 34%, los tallos 14% y las raíces 52%. La mayor proporción de contribución de hojas al total de la planta se registró a los 600 GD con el 52%, a partir de ese momento comienza a disminuir, convirtiéndose a los 830 GD en 35% y siguió disminuyendo lentamente hasta el final del ciclo. La mayor proporción de tallos se alcanzó a los 694 GD (28%) y como se presentó en las hojas, después de la relación máxima, se redujo hasta el final, con 10% de biomasa total.

Igualmente concuerdan con Santos (2010) que estudió la distribución de materia seca para C. Colombia, encontró que al inicio del ciclo los porcentajes de contribución de hojas y tallos fueron superiores al 40% y a través del ciclo del cultivo disminuyeron hasta alcanzar valores que varían entre 1 y 3% a los 77 dde. El aporte de materia seca de los tubérculos se estimó a los 21 dde hasta alcanzar un porcentaje del 70 % al final del ciclo.

En el estudio realizado por Ariza (2017) bajo condiciones de invernadero encontró que la distribución de materia seca para C. Colombia, C. Dorada y C. Ocarina a la mitad del ciclo (aproximadamente a los 68 dds) fue de 22 - 26% para raíces, de 23 - 28% para hojas y de 16 - 23% para tubérculos; al ser comparados con los resultados de la presente investigación, son porcentajes bajos a los correspondientes a los órganos raíz y hojas; el porcentaje de materia seca se encontró dentro del rango.

El comportamiento de distribución porcentual de materia seca en los tubérculos concuerda con estudios realizado por Ariza (2017) en Bogotá en la variedad C. Colombia, quien reportó un comportamiento diferencial desde los 5 días después de inicio de tuberización presentando mayor materia seca en los tubérculos (18% - 64%) y un aumento gradual

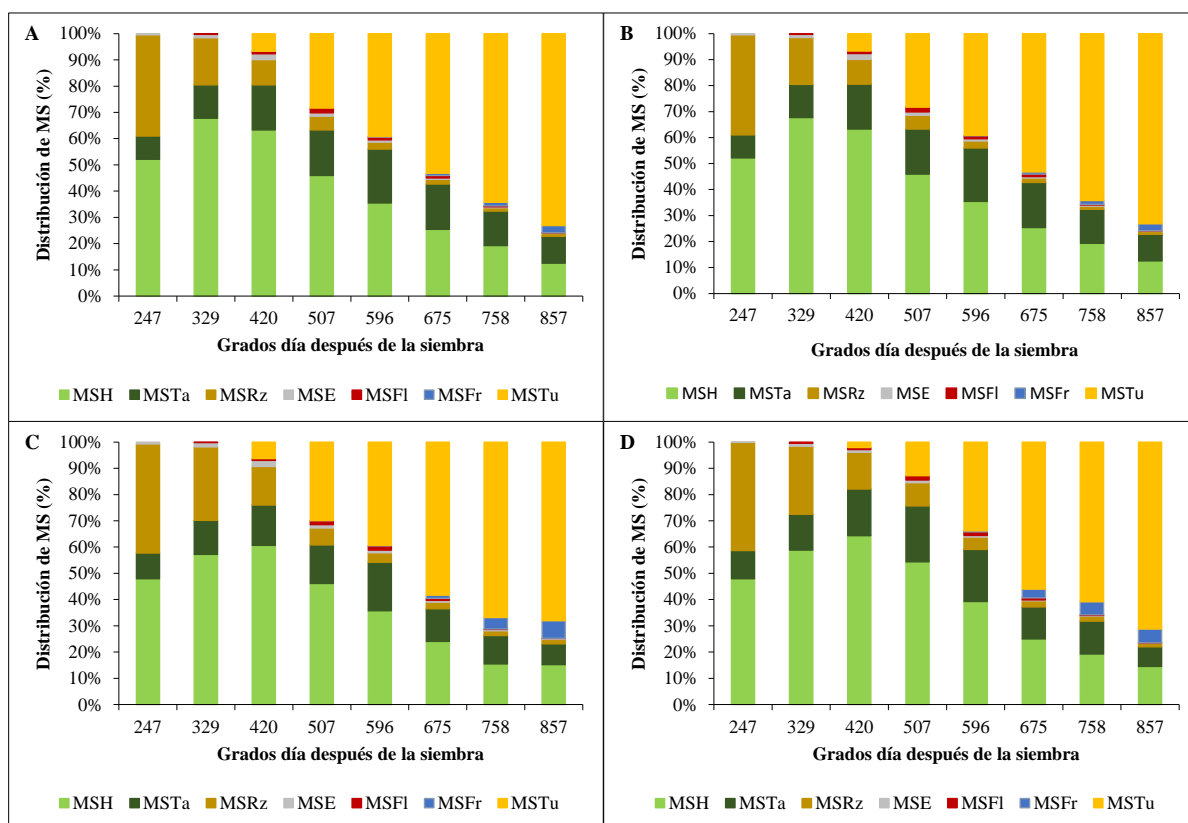


Figura 19. Distribución porcentual de materia seca de los órganos de la planta en genotipos de papa *S. phureja*. A. Criolla Dorada, B. Criolla Colombia, C. Ratona Morada, D. Tornilla Blanca.

MSH: Materia seca hojas, MSTa: Materia seca tallos, MSRz: Materia seca raíz, MSFI: Materia seca flores, MSFr: Materia seca fruto, MSTu: Materia seca tubérculo.

Fuente: Esta investigación.

debido a un cambio en la partición de fotoasimilados.

- **Índice de Cosecha (IC).**

El IC fue 73% para Criolla Colombia y Criolla Dorada, 71% para Tornilla Blanca y 68% para Ratona Morada. Los valores registrados fueron altos, que puede atribuirse a que la

materia seca de los órganos aéreos contribuyó significativamente sobre la materia seca que acumularon los tubérculos.

Según Errebhi *et al.* (1999) la distribución de biomasa hacia los tubérculos está muy relacionada con el nivel de domesticación de las especies de la papa, alcanzando 84% en los genotipos cultivados de *S. tuberosum*, 7 % en los silvestres y 38 % en los híbridos entre ambos. Al respecto, se podría decir que los genotipos nativos presentaron una buena productividad en comparación con los comerciales y pueden utilizarse para estudios de mejoramiento.

Gardner *et al.* (2017) y Hay y Walker (1989) sostienen que el IC tiene un coeficiente alométrico relativamente alto y se aprecia en la presente investigación, donde existió una alta correlación entre peso de tubérculos que osciló entre 170 y 247g y peso total de la planta valores entre 200 y 400 g.

Los valores de IC superan con poca diferencia a los de Silva *et al.* (2018) que reportaron en el Altiplano de Pasto-Nariño para la variedad C. Guaneña a una densidad de 33.333 pl. ha⁻¹ y tres niveles de potasio 300, 250, 200 kg de K₂O ha⁻¹, valores que oscilaron entre 55% y 70%, lo cual pudo deberse a la influencia directa que ejercieron éstos dos factores de manejo de la producción en el aumento de la eficiencia del cultivo para la producción de fotoasimilados al final del ciclo (tuberización).

También son superiores a los de Rojas y Seminario (2014) que evaluaron el IC de diez cultivares del grupo phureja, encontraron valores que oscilaron entre 22 y 46 %, los autores los consideran bajos al ser comparados con otras investigaciones; la explicación puede deberse a que, si bien, al momento de la cosecha los tubérculos estaban maduros, la parte del follaje aun verde tenía una área foliar activa que hubiera podido atraer más fuentes de carbono hacia los vertederos, aumentando el peso de los tubérculos.

Otros autores, como Seminario *et al.* (2018) que evaluaron el IC para 15 cultivares del grupo phureja, ocho presentaron valores $\geq 60\%$, que podrían seleccionarse como los más productivos. Saldaña *et al.* (2015) encontraron IC del 50 al 83% y Seminario *et al.* (2017) en diecisiete cultivares encontraron IC de 53% ('Limeña huachuma') a 77% ('Montañera-2'), con promedio de 65%, resultados que concuerdan con la presente investigación.

4.2.3. Componentes de rendimiento.

A continuación se muestran los resultados tanto de semilla básica como de registrada de los cuatro genotipos del grupo pureja.

En las tablas 13 y 14, se presentan los análisis de varianza de las dos categorías de semillas, correspondientes número de tallos por metro cuadrado (NTam²), número de tubérculos por planta (NTuP), peso promedio del tubérculo (PCTu), rendimiento por planta (RtoP) y clasificación de tubérculos según el tamaño (CITu%).

En la categoría básica el análisis de varianza (Tabla 13) indicó que existen diferencias significativas en el factor densidad de siembra para la variable NTm² y en el factor genotipo para las variables: NTam², NTuP, PCTu, TuMG y TuSem.

Tabla 13. Cuadrados medios y significación del ANOVA para el número de tallos por metro cuadrado (NTam²), número de tubérculos por planta (NTuP), peso de cada tubérculos (PCTu), rendimiento por planta (RtoP), clasificación de los tubérculos (CITu%) de semilla básica del grupo phureja.

FV	GL	NTam ²	NTuP	PCTu (g)	RtoP (Kg)	CLASIFICACIÓN DE TÚBERCULOS (%)		
						TuMG	TuSem	TuP3a
REP	2	2.03	16.70	7.25	0.04	130.60	80.78	2.33
DEN	2	17.22 **	4.34	87.40	0.01	7.30	13.36	4.00
REP*DEN	4	0.24	15.11	99.81	0.01	47.67	16.11	70.83
GEN	3	17.61 **	336.01**	6364.93**	0.04	137.23**	529.07**	89.88
DEN*GEN	6	1.90	3.98	157.20	0.02	18.02	22.55	17.74
ERROR	18	3.17	4.01	85.03	0.03	23.47	52.44	0.50
R ²		0.64	0.94	0.93	0.43	0.73	0.68	0.50
C.V %		17.95	10.95	17.47	19.32	40.95	10.85	27.90
Media		9.93	18.28	52.78	0.84	11.83	66.72	21.75

*=Diferencias estadísticas significativas (p \leq 0,05), **=Diferencias altamente significativas (p \leq 0,01), sin *= sin diferencias estadísticas significativas.

Por otro lado, en la categoría registrada el análisis de varianza (Tabla 14) indicó que existen diferencias significativas en el factor genotipo para las variables NTuP, PCTu, TuMG y TuP3a. Las interacciones entre el genotipo y la densidad de siembra para las dos categorías de semilla no presentaron diferencias estadísticas.

Según los resultados se puede afirmar que el grupo phureja se caracteriza por su alta variabilidad en cuanto a cultivares o morfotipos, los cuales, a la vez, son altamente variables en sus características morfológicas y de respuesta al medio según lo manifiestan Seminario y Zarpán (2011) y Tinjacá y Rodríguez (2015).

Tabla 14. Cuadrados medios y significación del ANOVA para el número de tallos por metro cuadrado (NTam²), número de tubérculos por planta (NTuP), peso de cada tubérculos (PCTu), rendimiento por planta (RtoP), clasificación de los tubérculos (ClTu%) de semilla registrada del grupo phureja.

FV	GL	NTam ²	NTuP	PCTu (g)	RtoP (Kg)	CLASIFICACIÓN DE TÚBERCULOS (%)		
						TuMG	TuSem	TuP3a
REP	2	30.19	50.83	399.53	0.50	72.75	60.78	190.58
DEN	2	7.00	0.60	205.03	0.01	20.33	40.53	6.33
REP*DEN	4	2.30	17.66	248.28	0.05	25.58	28.57	82.42
GEN	3	13.07	666.60**	20155.88**	0.10	568.55**	128.33	287.88*
DEN*GEN	6	3.09	3.81	444.77	0.01	38.19	23.19	15.07
ERROR	18	5.09	8.78	226.36	0.03	33.86	60.60	80.51
R ²		0.61	0.93	0.94	0.72	0.78	0.44	0.54
C.V %		19.11	15.81	19.30	15.61	23.35	14.14	44.68
Media		11.81	18.74	77.97	1.17	24.92	55.06	20.08

*=Diferencias estadísticas significativas (p≤0,05), **=Diferencias altamente significativas (p≤0,01), sin * = sin diferencias estadísticas significativas.

- **Número de tallos por metro cuadrado (NTam²).**

El NTam² en semilla básica osciló entre 8,9 tall.m⁻² con una densidad de 40.000 pl.ha⁻¹ y 11,25 tall.m⁻² con una densidad de 50.000 pl.ha⁻¹ (Tabla 15).

El mayor NTam² se presentó con la densidad 50.000 pl.ha⁻¹ (11,25 tall.m⁻²) no mostró diferencia estadística con la densidad 44.444 pl.ha⁻¹ (9,63 tall.m⁻²), pero si difirió estadísticamente con la densidad 40.000 pl.ha⁻¹ (8,91 tall.m⁻²) (Tabla 15).

Tabla 15. Prueba de comparación de medias de Tukey factor densidad de siembra para las variable número de tallos por metro cuadrado (NTam²) en semilla básica del grupo phureja.

DENSIDAD (pl.ha ⁻¹)	NTam ²
50000	11.25 ^{*a}
44444	9.63 ^{ba}
40000	8.91 ^b

* Letras distintas indican diferencia significativa P≤0.05

La respuesta del NTam² fue directa, a mayor densidad de siembra, mayor es el número de tallos por unidad de área ya que los genotipos mostraron un alto índice de brotación, observándose un promedio de 2,26 tallos por planta.

Según Arias *et al.* (1996) cuando se disminuye la distancia entre planta y la distancia entre surco, la densidad de tallos se incrementa significativamente; los autores evaluaron el NTam² en el genotipo yema de huevo cultivado en diferentes densidades de siembra, encontrando 18 tall.m⁻², 16 tall.m⁻² y 13 tall.m⁻² con densidades de 50.000 pl.ha⁻¹, 40.000 pl.ha⁻¹ y 33.333 pl.ha⁻¹, respectivamente; estos resultados coinciden con la presente investigación.

Se debe tener en cuenta que la alta densidad de tallos reducirá la proporción de tubérculos grandes. En la producción de semilla, se busca generalmente reducir el tamaño del tubérculo, razón por la cual se usa una densidad más alta que en la producción de papa para consumo (Oyarzún *et al.*, 2002).

En el factor genotipo para semilla básica, la variable NTam² mostró que Tornilla Blanca (11,8 tall.m⁻²) desarrolló mayor NTm² y no presentó diferencia estadística con Criolla Dorada (9,99 tall.m⁻²) y Criolla Colombia (9,45 tall.m⁻²); estos dos últimos genotipos fueron estadísticamente similares a Ratona Morada (8,47 tall.m⁻²) (Tabla 16).

El número de tallos se encuentra en función del número de yemas del tubérculo semilla, de la edad fisiológica y requiere un buen tamaño y peso (Tirado y Tirado, 2018); en este caso la procedencia de la semilla fue de un sistema de producción formal, en donde presentó condiciones ambientales y locativas adecuadas para su brotación y presentó un promedio de diámetros de 2.46 x 2.35 cm con un peso de 15 g, características que permitieron un buen desarrollo de tallos.

Pumisacho *et al.* (2002) mencionan que las variedades nativas se caracterizan por generar un gran número de tallos, mientras que las mejoradas tienden a producir cuatro, tres u dos tallos por tubérculo semilla; esta afirmación concuerda con lo encontrado en la presente investigación, donde Tornilla Blanca presentó una media mayor al compararse con el resto de los otros genotipos.

Es importante mencionar que el genotipo Tornilla Blanca desarrolló buen número de tallos, pero según la morfología de la planta, genera estolones pegados al tallo, con baja cantidad de tubérculos de gran tamaño (88,15 g), lo cual genera un buen rendimiento al igual que el resto de los genotipos.

Los resultados concuerdan con Rojas y Seminario (2014) que evaluaron el $NTam^{-2}$ en diez genotipos diploides con valores que oscilan entre 8 $tall.m^{-2}$ (Amarilla) y 19 $tall.m^{-2}$ (Huagalina). Igualmente, con investigaciones de Tirado y Tirado (2018) que encontraron en 20 clones del grupo phureja cultivados con una densidad de 33.333 $pl.ha^{-1}$, valores entre 3,73 $tall.m^{-2}$ y 11,32 $tall.m^{-2}$.

Tabla 16. Prueba de comparación de medias de Tukey factor genotipo para las variables número de tallos por metro cuadrado (NTam²), número de tubérculos por planta (NTuP), peso promedio de tubérculo (PCTu) y porcentaje de clasificación de los tubérculos (%CITu) de semilla básica del grupo phureja.

GENOTIPO	NTam ²	NTuP	PCTu (g)	CLASIFICACIÓN DE TÚBERCULOS (%)	
				TuMG	TuSem
Ciolla Dorada	9.99 ^{*ba}	24.58 ^a	31.20 ^c	13.77 ^a	62.44 ^{bc}
Criolla Colombia	9.45 ^{ba}	22.27 ^a	33.43 ^c	16.66 ^a	58.22 ^c
Ratona Morada	8.47 ^b	14.49 ^b	58.32 ^b	9.44 ^b	71.67 ^{ba}
Tornilla Blanca	11.80 ^a	11.79 ^c	88.15 ^a	7.81 ^b	74.56 ^a

* Letras distintas indican diferencia significativa $p \leq 0.05$

- **Número de tubérculos por planta (NTuP).**

La prueba de Tukey (Tabla 16) para semilla básica, indicó que la mayor producción de NTuP fue para Criolla Dorada (24,58tu.pl⁻¹) y Criolla Colombia (22,27 tu.pl⁻¹) los cuales presentaron diferencias estadísticas con los dos genotipos restantes; el genotipo Ratona Morada (14,49 tu.pl⁻¹) fue estadísticamente superior a Tornilla Blanca (11,79 tu.pl⁻¹).

En semilla registrada, el mayor NTuP lo presentó el genotipo Criolla Dorada (27,48) con diferencias estadísticas respecto a los demás genotipos; los genotipos Criolla Colombia con 22,97 tu.pl⁻¹, Ratona Morada con 16,97 tu.pl⁻¹ y Tornilla Blanca con 7,47 tu.pl⁻¹ mostraron diferencias estadísticas entre ellos (Tabla 17).

Al observar los resultados del NTuP se puede afirmar que esta variable estuvo determinada por el genotipo. Al respecto Sharma *et al.*, 2013 menciona que los cultivares difieren ampliamente en su capacidad para producir tubérculos, algunos son más prolíferos que otros, afirmaciones que concuerdan con los resultados de Ozkaynak y Samanci (2005) que mencionan que el NTuP de tres cultivares de papa en campo, invernadero y en camas de semillas, estuvo influenciado por el genotipo.

Otros autores como Tirado y Tirado (2018) mencionan que el comportamiento del NTuP se encuentra influenciado tanto por el genotipo como por las condiciones medio ambientales; en 20 clones diploides los autores encontraron un promedio de 27,37 tu.pl⁻¹, resultados

similares a los de la presente investigación. Así mismo, Mateus *et al.* (2014), en su investigación realizada en la producción de minitubérculos de papa manifestó que el ambiente tiene efecto sobre los genotipos y que estos responden de manera distinta en cada ambiente evaluado. Lo anterior demuestra que las condiciones ambientales donde se realizó el experimento incidieron en la producción de los genotipos.

Los resultados de esta investigación se encuentran dentro del rango reportado por Seminario *et al.* (2018) para cultivares del grupo phureja que van desde 12,2 tu.pl⁻¹ para Amarilla Mahuay hasta 28,3 tu.pl⁻¹ para Blanca Amarilla. Igualmente los valores registrados para CD y CC, concuerdan con Arias *et al.* (1996) que evaluaron el NTuP en la variedad Yema de Huevo con valores que oscilan entre 20 tu.pl⁻¹ y 27 tu.pl⁻¹.

Tabla 17. Prueba de comparación de medias de Tukey para las variables número de tubérculos por planta (NTuP), peso promedio de tubérculo (PCTu) y porcentaje de clasificación de los tubérculos (ClTu%) semilla registrada del grupo phureja.

GENOTIPO	NTuP	PCTu (g)	CLASIFICACIÓN DE TÚBERCULOS (%)	
			TuMG	TuP3a
Criolla Dorada	27.48 ^{* a}	46.78 ^b	27.78 ^{ba}	17.67 ^b
Criolla Colombia	22.97 ^b	53.56 ^b	33.22 ^a	17.00 ^b
Ratona Morada	16.97 ^c	63.33 ^b	14.33 ^c	28.56 ^a
Tornilla Blanca	7.57 ^d	148.22 ^a	24.33 ^b	17.11 ^b

* Letras distintas indican diferencia significativa $p \leq 0.05$

- **Peso de cada tubérculo (PCTu).**

El mayor PCTu lo presentó Tornilla Blanca con 88.15 g mostrando diferencias estadísticas con Ratona Morada (58,32 g), Criolla Dorada (31,20 g) y Criolla Colombia (22,27 g), estos dos últimos genotipos no difirieron entre sí (Tabla 16). Los resultados de Criolla Dorada y Criolla Colombia confirman los encontrados por Rojas y Seminario (2014) en diez clones promisorios del grupo phureja, con valores medios que oscilan entre 15,9 g (Amarilla) y 31,9 g (Amarilla mahuay).

De igual manera, en la semilla registrada (Tabla 17), el genotipo Tornilla Blanca mostró el mayor PCTu con 148,22 g estadísticamente superior al resto de genotipos; los genotipos Ratona Morada (63,33 g), Criolla Colombia (53,56 g) y Criolla Dorada (46,78 g) no mostraron diferencias estadísticas; el mayor peso de tubérculo logrado por Tornilla Blanca, puede ser explicado porque se trata de un cultivar nativo, mejor adaptado a la región, mantenido por los agricultores, no uniformizados por el mejoramiento genético moderno. Además, presentan diversas formas, colores y tamaños que enriquecen su biodiversidad (Mejía *et al.*, 2018).

- **Rendimiento por planta (RtoP).**

El RtoP no mostró diferencias significativas en las dos categorías de semilla (Tabla 13 y 14), pero es importante mencionar que el Rto osciló entre 0,78 kg.pl⁻¹ y 0,91 kg.pl⁻¹ con una media de 0,84 kg.pl⁻¹ en semilla básica y entre 1,07 kg.pl⁻¹ y 1,29 kg.pl⁻¹ con una media de 1,17 kg.pl⁻¹, en semilla registrada.

El rendimiento encontrado en esta investigación supera a lo reportado en investigaciones realizadas por Ariza (2017) en los genotipos C. Colombia, C. Dorada y C. Ocarina con valores de 0,6 kg.pl⁻¹, 0,13 kg.pl⁻¹ y 0,62 kg.pl⁻¹, respectivamente; la diferencia puede atribuirse a que las condiciones experimentales fueron superiores a las del autor.

Los resultados concuerdan con Santos (2010) quien evaluó el rendimientos de C. Colombia, C. Galeras, C. Latina y C. Guaneña en dos ambientes diferentes cuando el cultivo se realizó a 2.859 msnm, los rendimientos encontrados fueron de 0,73 kg.pl⁻¹, 0,77 kg.pl⁻¹, 0,89 kg.pl⁻¹ y 1,16 kg.pl⁻¹, respectivamente y en el mismo orden de 0,91 kg.pl⁻¹, 1,0 kg.pl⁻¹, 1,14 kg.pl⁻¹ y 1,49 kg.pl⁻¹ a una altura de 2.572 msnm. También coinciden con un estudio más reciente realizado por Rodríguez (2013) que evaluó el rendimiento de 35 familias del grupo phureja con valores que oscilaron entre 0,0050 kg.pl⁻¹ y 2,25 kg.pl⁻¹, considerado como un rendimiento alto para genotipos diploides.

En otros estudios realizados en Perú por Seminario *et al.* (2018) evaluaron el rendimiento de cultivares amarillos de papa (Blanca Amarilla, Limena Huachuma, Llanqueja, Amarilla redonda, Piña Amarilla) y encontraron valores de 0.78 - 1.0 kg.pl⁻¹.

Es importante considerar el rendimiento y el índice de cosecha, porque permite diferenciar y seleccionar genotipos para el mejoramiento agronómico, genético y de producción de semilla (Seminario *et al.*, 2018). Tanto los rendimientos encontrados como los índices de cosecha fueron altos, características que se pueden contemplar para ser competitivos a nivel de semilla, así como también para que el agricultor preserve material nativo, conserve los saberes ancestrales y sean una alternativa frente a la fluctuación de los precios.

- **Porcentaje de clasificación de tubérculos (CITu%).**

Semilla básica. La prueba de comparación de medias (Tabla 16) indicó que el mayor porcentaje de TuMG lo presentaron Criolla Colombia (16,66 %) y Criolla Dorada (13,77 %), sin diferencias estadísticas; estos genotipos presentaron diferencias significativas al compararse con Ratona Morada (9,44 %) y Tornilla Blanca (7,81%), los cuales tampoco mostraron diferencias entre sí. La mayor proporción de TuSem la presentó Tornilla Blanca (74,56%) y Ratona Morada (71,67%) sin diferencias entre sí, pero estadísticamente superiores a los genotipos Criolla Dorada (62,44 %) y CC (58,22 %).

Semilla registrada. La prueba de comparación de medias (Tabla 17) indicó que el mayor porcentaje de TuMG lo presentaron Criolla Colombia (33,22%) y Criolla Dorada (27,78%) con diferencias estadísticas con respecto a los otros dos genotipos; Tornilla Blanca (24,33%) superó estadísticamente a Ratona Morada (14,33%). El mayor porcentaje de TUP3a lo presentó Ratona Morada con 28,56% mostrando diferencias estadísticas con respecto a los demás genotipos; Criolla Colombia (17%), Tornilla Blanca (17,11%) y Criolla Dorada (17,67%), fueron estadísticamente similares.

Los resultados muestran que la media de los porcentajes de TuSem de los genotipos del grupo phureja fueron de 66,72% en categoría básica y 55,06% en categoría registrada; estos resultados pueden atribuirse a la baja presencia de plagas, nutrición, buen índice de área foliar, semilla de calidad, genética y factores medioambientales adecuados (Barani *et al.*, 2013).

También podría atribuirse a la alta disponibilidad de potasio en el suelo, elemento que es absorbido en mayores cantidades que el nitrógeno y que sus mecanismos de captación y translocación son similares, aumentando la producción y movilización de azúcares y almidones desde la parte aérea hacia los tubérculos (Suarez y Torres, 2014).

Por otro lado, Rykaczewska (2016) menciona que el tamaño de los tubérculos se encuentra influenciado por el número de plantas por superficie de área. A menor espacio entre plantas resulta un mayor número de TuSem y TuP al ser comparados con la cantidad de TuMG o comerciales (Tesfaye *et al.*, 2013; Abdullah *et al.*, 2016); en este caso, el espaciamiento entre planta y entre surcos permitió que los genotipos tuvieran un buen porcentaje de TuSem. Por esta razón, se debería tener en cuenta en sistemas de producción de semilla, controlar la competencia por recursos (luz, agua, nutrientes) en las altas densidades de siembra, compensando con distanciamientos más amplios entre los surcos (Mahmood, 2005).

Según Santos (2010) los tamaños de tubérculos correspondientes a semilla, en los genotipos C. Colombia, C. Galeras, C. Latina, C. Guaneña cultivados a una altura de 2.859 msnm, oscilaron entre 55% y 80%, datos que concuerdan con la presente investigación. En el mismo estudio, a una altura de 2.572 msnm, los porcentajes TuSem estuvieron entre 21% y 38% y los tubérculos comerciales entre 62% y 79%, lo que confirma que la altura y la temperatura influyen en los diferentes tamaños de tubérculos.

Seminario *et al.* (2018) quienes evaluaron la clasificación por tamaños en 15 cultivares de papa amarilla encontraron porcentajes de TuMG que van desde el 14% (Sogha amarilla)

hasta el 53% (Amarilla mahuay) y TuSem del 24% (Blanca) hasta el 62% (Sogha amarilla); valores similares a los de la presente investigación. Los autores mencionan que estos estudios son importantes porque existe la posibilidad de seleccionar cultivares según el tamaño de los tubérculos, enfatizando que los más comerciales son los que presentan un diámetro de 2 – 4 cm, con una producción $\geq 40\%$; en este sentido, los genotipos evaluados podrían ser utilizados bajo condiciones similares en sistemas de producción de semilla.

Arias *et al.* (1996) evaluaron la producción de los TuSem.m⁻² en la variedad Yema de Huevo con diferentes densidades de siembra; sin encontrar respuestas significativas, es decir, que distancias entre surcos menores de un metro y distancias entre plantas menores a 0,30 no producen incrementos significativos. Estos resultados concuerdan con los de la presente investigación, donde la densidad de plantas no influyó en la clasificación del tamaño de los tuberculos.

Caso contrario reportaron Harnet, *et al.* (2014) que evaluaron en Etiopia la producción de tubérculos semilla en la variedad Jalenie, reportando que existen diferencias significativas tanto entre la distancia entre planta como la distancia entre surco, determinaron que la mejor densidad para producción de semilla fue de 76.923 pl.ha⁻¹ (0,20 x 0,65). Los autores mencionan que el espaciamiento más cercano produce una cubierta de tierra que permite una mejor interceptación de luz e influye en la fotosíntesis, lo que permite mejorar los rendimientos de semilla.

4.2.4. Análisis de Sendero

El análisis de correlación mostró que las variables NTam² (0.37) y NTuP (0.34) fueron las que estuvieron más asociadas con el rendimiento de semilla (RtoSem) en los genotipos *S. phureja* (Tabla 18); indicó que entre mayor sea el NTam² y el NTuP mayor será el RtoSem. Estos resultados concuerdan con Harnet *et al.* (2014) quienes reportaron que a mayor densidad de tallos se produce mayor número de tubérculos no comerciales por planta.

En la Tabla 18, se presenta los efectos directos e indirectos sobre el RtoSem del grupo phureja mostraron que las variables que presentaron mayores efecto directo fueron NTuP (2,29), TuMP (-1,72) y TuMG (0,90); el IAN solo representó un efecto directo de 0,24.

Según lo anterior, se concluye que el NTuP en los genotipos del grupo phureja está relacionado directamente con el RtoSem. Por ejemplo, los genotipos produjeron diferentes cantidades de tubérculos CD con 27,48 tu.pla⁻¹, CC con 22,97 tu.pla⁻¹, RM con 16,96 tu.pla⁻¹ y TB con 7,56 tu.pla⁻¹ y la producción de TuSem fue una media de 55,06%.

En los efectos indirectos, las variables que presentaron mayores efectos fueron los TuMP (-1,37) y TuMG (-1,25) a través de la variable NTuP, que representa un efecto inversamente proporcional, en donde al disminuir la cantidad de TuMG y TuMP se ve afectado el NTuP y aumentará el RtoSem, caso contrario si se aumentan estos dos tamaños, también afectará el NTuP y el RtoSem disminuye.

Tabla 18. Análisis de sendero para el rendimiento de semilla registrada de *S. phureja*.

	NTPm²	NTuP	TuMG	TuMP	IAN	RtoSem
NTPm²	-0.02	0.84	0.15	-0.69	0.09	0.37
NTuP	-0.01	2.29	-0.49	-1.37	-0.08	0.34
TuMG	0.00	-1.25	0.90	0.68	-0.07	0.26
TuMP	-0.01	1.82	-0.36	-1.72	0.14	-0.12
IAN	-0.01	-0.72	-0.27	0.78	0.24	0.02

Los efectos directos resaltados en negrita.

Fuente: Esta investigación

5. CONCLUSIONES

Los genotipos de *Solanum tuberosum* L. spp. *andigena* y de *Solanum phureja*, presentaron diferentes requerimientos térmicos para alcanzar las etapas fenológicas de la escala BBCH de papa modificada para este estudio. Los genotipos de *Solanum tuberosum* L. spp. *andigena* y de *Solanum phureja* presentaron un requerimiento de 1285 GD y de 936 GD, respectivamente para el cumplimiento de su ciclo fenológico.

Los modelos de crecimiento que presentaron un mejor ajuste para explicar el comportamiento de las variables (AP, MSTP, AF, IAF, IAN, ICR e ICC), en función de los grados día, correspondieron en general a modelos con reducido crecimiento al principio (fase I), altos incrementos en la fase II y estabilidad al final del ciclo (Fase III); los modelos más representativos fueron: correspondieron a ecuaciones de Hoerl, de Gaussian y Polinómicas de tercer grado.

Las densidades de siembra evaluadas no afectaron las variables de rendimiento de los genotipos de *Solanum tuberosum* L. spp. *andigena* y de *Solanum phureja*; sin embargo, las mayores densidades de siembra originaron un mayor número de tallos por metro cuadrado, tanto en semilla básica como en semilla registrada.

El promedio de producción de tubérculos semilla de acuerdo con la resolución ICA No. 3861 del 7 de septiembre del 2015 en las categorías básica y registrada para los seis genotipos de *Solanum tuberosum* L. spp. *andigena* fue de 83,31 % y 76,99%, respectivamente; y para los cuatro de *Solanum phureja* fue de 66,72 % y 55,06%, respectivamente.

La variable número de tubérculos por planta fue la de mayor incidencia en el rendimiento de semilla, tanto en los genotipos de *Solanum tuberosum* L. spp. *andigena* como *Solanum phureja*.

6. BIBLIOGRAFIA

Abdullah, M., Mamun, A., Mahmud, A., Zakaria, M., Mofazzal H., Hossain, T. 2016. Effects of planting times and plant densities of top-shoot cuttings on multiplication of breeder seed potato. *Agriculture and Natural Resources* 50(1): 26-31.

Abrha, H., Belew, D., and Woldegiorgis, G. 2014. Effect of inter and intra row spacing on seed tuber yield and yield components of potato (*Solanum tuberosum* L.) at Ofla Woreda, Northern Ethiopia. *Afr. J. Plant Sci.*8(6): 285-290. <https://doi.org/10.5897/AJPS2014.1153>.

Acosemillas. 2018. Asociación Colombiana de Semillas y Biotecnología. Disponible en: <http://www.acosemillas.com/memorias-congreso-semillas-2018/>. Consulta: enero del 2019.

Aguirre, C., Valdez, J., Ángeles, G., Santos, H. y Aguirre, A. 2011. Mapeo del índice de área foliar y cobertura arbórea mediante fotografía hemisférica y datos spot 5 hrg: regresión y k-nn. *Agrociencia*. 45 (1): 105 - 119.

Aguilar, M., Carrillo, J., Rivera, A. y González, V. 2006. Análisis de crecimiento y de relaciones fuente-demanda en dos variedades de papa (*Solanum tuberosum* L.). *Revista Fitotecnia Mexicana*. 29 (2): 145 - 156.

Almeida, F., Torres, W., Cabrera, A., y Arzuaga, J. 2018. Crecimiento de plantas de papa (*Solanum tuberosum* L., cv romano), en la Provincia de Huambo, Angola, bajo dos densidades de plantación. *Cultivos Tropicales*. 39(3): 31-40.

Andrade, N., Contreras, A. y Castro, I. 2008. Evaluación comparativa del efecto en el rendimiento y sanidad en el cultivo de papa al utilizar semilla certificada y sin certificar. *Agro Sur*. 36 (2): 111 - 114.

Araque, E., Bohórquez, M. D., Pacheco, J., Correa, L., Urquijo, J., Castañeda, S. y Pacheco, J. 2018. Propagación y tuberización in vitro de dos variedades de papa. *Ciencia en Desarrollo*. 9 (1): 21-31.

Arias, V., Bustos, P. y Ñustez, C. 1996. Interrelación entre la densidad de tallos y la tasa de multiplicación de tubérculos en papa criolla (*Solanum phureja* Juz. et Buk) variedad “Yema de Huevo”. *Agronomía Colombiana*. 8 (2): 162-168.

Ariza, W. 2017. Respuestas fisiológicas, bioquímicas y rendimiento en tres variedades de papa criolla (*Solanum tuberosum* grupo Phureja) en déficit hídrico. Tesis de MSc. Universidad Nacional de Colombia. Bogotá. Facultad en Ciencias Agrarias. 91p.

Arsenault, W., LeBlanc, D., Tai, G. and Boswall, P. 2001. Effects of nitrogen application and seed piece spacing on yield and tuber size distribution in eight potato cultivars. *American Journal of Potato Research*. 78(4): 301–309.

Asensi, A.; García, F. y Reig, J. 2010. Ozone induced reductions in below-ground biomass: an anatomical approach in potato. *Plant, Cell & Environment*. 33(7): 1070-1083. DOI 10.1111/j.1365-3040.2010.02128.x.

Attia, Z., Domec, J., Oren, R., Way, D. y Moshelion, M. 2015. Growth and physiological responses of isohydric and anisohydric poplars to drought. *Journal of Experimental Botany*. 66(14):4373-4381. DOI 10.1093/jxb/erv195.

Awati, R., Bhattacharya, A. y Char, B. 2018. Rapid multiplication technique for production of high-quality seed potato (*Solanum tuberosum* L.) tubers. *Journal of Applied Biology & Biotechnology*. x (xx). xx-xx.

Azcón, J. y Talón, M. 2013. *Fundamentos de fisiología vegetal*. Second edition. Interamericana Mc Graw Hill. Madrid. 669 p.

Badoni, A. and Chauhan, J. 2010. Conventional vis-a-vis biotechnological methods of propagation in potato: a review. *Stem Cell*. 1(1): 1 - 6.

Bani, N., Said, Said, J., Ahmad, M., Khalife, H., Al-Fraihat, A., Alhorout, H., Sharef, H. & Aldabbas, F. 2018. Effect of plant density on the water use efficiency and quality of potato (*Solanum tuberosum* L. cv. spunta) in the Jordan Valley. *Journal of Agricultural Science*. 10 (12): 203 – 214. DOI: 10.5539/jas.v10n12p203.

Barani, M., Akbari, N., & Ahmadi, H. 2013. The effect of gibberellic acid (GA3) on seed size and sprouting of potato tubers (*Solanum tuberosum* L.). *African Journal of Agricultural Research*. 8(29): 3898-3903.

Barry, P., Storey, T. and Hogan, R. 1990. Effect of plant population and set size on yield of the main crop potato variety Cara. *Irish J. Agric. Res.* 29: 49–60.

Bello, M. y Pinzón, B. 1997. Evaluación del efecto del tamaño del tubérculo semilla sobre el rendimiento de la papa criolla, variedad ‘Yema de huevo’ *Solanum phureja* Juz et Buk. No. Doc. 18229)* CO-BAC. Santafé de Bogotá.

Betancourth, C., Portilla, E. y Salas, H. 2008. Evaluación de la reacción de nueve genotipos de papa (*Solanum tuberosum* subsp. *andigena*) al ataque de *Phytophthora infestans* (Mont) de Bary. *Agronomía Colombiana*. 26(3): 411-416.

Borrego, F., Fernández, J., López, A., Parga, V., Murillo, M. y Carvajal, A. 2000. Análisis de crecimiento en siete variedades de papa (*Solanum tuberosum* L.). *Agronomía Mesoamericana*. 11 (1): 145 - 149.

Bradshaw, J. 2007. Potato-breeding strategy, Potato biology and biotechnology advances and perspectives. Vreugdenhil. Elsevier, Amsterdam. 157-174 p.

Brown, C. 1993. Origin and history of the potato. *Amer. Pot. J.* 70: 63-373.

Bryan, E., 1981. *Rapid Multiplication Techniques for Potatoes*. CIP. Lima, Peru. 205 p.

Buckseth, T., Sharma, A.K., Pandey A.K., Singh, B.P., Muthuraj, R. 2016. Methods of pre-basic seed potato production with special reference to aeroponics - A review. *Scientia Horticulturae*. 204: 79–87.

Burke, J. 2003. Growing the potato crop. Teagasc. En: *Irish Agriculture and Food Development Authority*. 3p. <http://www.teagasc.ie/publications/2003/conferences/potato/paper02.htm>. Consulta: Noviembre del 2018.

Cabezas, M., y Corchuelo, G. 2005. Estimación de la interceptación de la radiación solar en papa criolla (*Solanum phureja* Juz. et Buk.) en tres localidades colombianas. *Agronomía Colombiana*. 23(1): 62-73.

Campostrini, E. y Yamanishi, O. 2001. Estimativa da área foliar do mamoeiro utilizando o comprimento da nervadura central. *Scientia Agrícola*. 58(1): 39-42.

Cao W., y Tibbitts, T. 1995. Leaf emergence on potato stems in relation to thermal time. *Agronomy Journal*. 87(3): 474 - 477.

Cardona, C., Araméndiz, H., Barrera, C. 2009. Estimación del área foliar de papaya (*Carica papaya* L.) basada en muestreo no destructivo. *Revista U.D.C.A Actualidad y Divulgación Científica*. 12(1): 131-139.

Chiipanthenga, M., Maliro, M., Demo, P., Njoloma J. 2012. Potencial of aeroponics system in the production of quality potato (*Solanum tuberosum* L.) seed in developing counties. *African Journal of Biotechnology*. 11(17): 3993-3999. DOI: 10.5897/AJB10.1138.

CIP. 2013. Manejo del tubérculo semilla. Disponible en: <https://cipotato.org/es/sin-categorizar/manejo-del-tuberculo-semilla/>. Consulta: Marzo, 2019.

Clavijo, J. 1989. Análisis de crecimiento en malezas. Revista Comalfi: 15: 12-16.

Collins, W. B. 1977. Comparison of growth and tuber development in three potato cultivars with diverse canopy size. Canadian Journal of Plant Science. 57 (3): 797-801.

Crissman, C. and Mc Arthur, C., 1993. Seed Potato Systems in Kenya, A Case Study. International Potato Center. Lima. 44 p.

Consolidado Agropecuario Departamental de Nariño. 2017. Gobernación de Nariño - Secretaria de Agricultura y Medio Ambiente y Corporación Colombiana Internacional. Consulta: febrero del 2019.

Corpoica, 2015. Corporación de Investigación Agropecuaria de Colombia - Plan de manejo Tecnologías Validadas en el Sistema Productivo de Papa (*Solanum tuberosum L.*). Yacuanquer, Nariño. 50 p.

Da Silva, O. 2000. Potato crop growth as affected by nitrogen and plant density. Pesquisa Agropecuária Brasileira. 35 (5): 939 - 950.

Da Silva, J., Rezende, P., Prieto, H., De Lacerda, J., Cecon, P. y McGiffen, M. 2018. Varying Nitrogen Concentrations to Optimize Basic Seed Potato Minitubers Production in a Three-Phase Hydroponic System. American Journal of Potato Research. 95(6): 687 - 695.

Danci, O. 2007. Studies regarding the elaboration of an optimum micro-propagation protocol for potato cultivar recalcitrant to in vitro cultures. Research Journal of Agricultural Science. 39(2): 577 - 580.

De la Casa, A., Ovando, G., Bressanini, L., Rodríguez, Á. y Martínez, J. 2007. Uso del índice de área foliar y del porcentaje de cobertura del suelo para estimar la radiación interceptada en papa. *Agricultura Técnica*. 67(1): 78-85. DOI 10.4067/S0365-28072007000100010.

De la Casa, A., Ovando, G., Bressanini, L., Martínez, J. y Rodríguez, A. 2011. Eficiencia en el uso de la radiación en papa estimada a partir de la cobertura del follaje. *Agriscientia*. 28(1): 21-30.

Diémé, A., Nahr, M., Codjo, E. and Ouréye, M. 2013. Residual effects of sucrose and hormonal treatments of the tuberization medium on in vitro germination of potato (*Solanum tuberosum* L.) microtubers. *American Journal of Potato Research*. 4(9): 1872-1878.

Donnelly, D., Coleman, W. and Coleman, S. 2003. Potato microtuber production and performance: a review. *American Journal of Potato Research*. 80(2): 103-115.

El Komy, M.H., Abou-Taleb, E.M., Aboshosha, S.M., El-Sherif, E.M., 2010. Differential expression of potato pathogenesis-related proteins upon infection with late blight pathogen: a case study expression of potato osmotin-like protein. *Int. J. Agric. Biol.* 12(2): 179 - 186.

Estévez, A y González, M. 2007. El cultivo de la papa en Cuba, Capítulo I. Instituto Nacional de Ciencias Agrícolas. Ediciones INCA. La Habana, Cuba. 700 p.

Errebhi, M., Rosen, C., Laver, F., Martin, M., Bamberg, J. 1999. Evaluation of tuber-bearing species for nitrogen use efficiency and biomass partitioning. *American Journal of Potato Research*. 76(3): 143-151.

Fageria, N., Baligar, V. y Clark, R. 2006. *Physiology of crop production*. Haworth Press. New York. 342 p.

FAO. 2011. Food and Agricultural Organization of the United Nations Database. Disponible en: <http://www.fao.org/news/archive/news-by-date/2011/en/>. Consulta: noviembre del 2018.

Farran, I., Mingo-Castel, A.M., 2006. Potato minituber production using aeroponics: effects of plant density and harvesting intervals. *American journal of potato research*. 83 (1): 47 - 53.

FEDEPAPA. 2004. Guía ambiental para el cultivo de la papa. Disponible en: <https://redjusticiaambientalcolombia.files.wordpress.com/2012/09/guia-ambiental-para-el-cultivo-de-la-papa.pdf>. Consulta: Noviembre, 2018.

FEDEPAPA. 2015. Plan estratégico. Informe de gestión. Disponible en: <https://fedepapa.com/recursos/Documento%20estrat%C3%A9gico%20Plan%202020.pdf>. Consulta: diciembre de 2018. Consulta: diciembre de 2018.

Flores, H., Flores, H. y Ojeda, W. 2014. Predicción fenológica del cultivo de papa mediante tiempo térmico. *Revista Fitotecnia Mexicana*. 37(2): 149 - 157.

Franke, A., Haverkort, A., y Steyn, J. 2013. Climate change and potato production in contrasting South African agro-ecosystems 2. assessing risks and opportunities of adaptation strategies. *Potato research*. 56(1): 51-66. DOI 10.1007/ s11540-013-9229-x.

Foyer, C. and Paul, M. 2001. Source - Sink relationships. In: *Encyclopedia of life sciences. Plant Physiology*. 78: 519-524. Doi: 10.1038/npg.els.0001304.

Gaitán, A., González, M., Núñez, C., Saldaña, T., Cotes, J. 2013. Análisis funcional de crecimiento y desarrollo de cuatro variedades de papa (*Solanum tuberosum* subsp. *andigena*). *Revista Facultad de Ciencias Básicas*. 9(2): 172 – 185. ISSN 1900-4699.

Gardner, F., Pearce, R., Mitchel, R. 1985. Physiology of crop plants. 2da edición. India: Scientific Publishers. 327 p.

Gardner, F., Pearce, R. y Mitchell, R. 2003. Physiology of crops plants. India. Scientific Publishers. 327 p.

Gawronska, H., Dwelle, R.B., Pavek, J.J. y Rowe, P. 1984. Partitioning of photoassimilates by for potato clones. Crop Sci. 24: 1031-1036.

Getachew, T., Belew, D., and Tulu, S. 2013. Combined effect of plant spacing and time of earthing up on tuber quality parameters of potato (*Solanum tuberosum* L.) at degem district, north showa zone of oromia regional state. Asian J. Crop Sci. 5(1): 24-32. doi.org/10.3923/ajcs.2013.24.32

Ghislain, M., Andrade, D., Rodríguez, F., Hijmans, R. y Spooner, D. 2006. Genetic analysis of the cultivated potato *Solanum tuberosum* L. Phureja Group using RAPDs and nuclear SSRs. Theoretical and Applied Genetics. 113(8): 1515-1527.

Gomez, M., Magnitskiy, S., Rodriguez, L. 2018. Potential yield and efficiency of N and K uptake in tubers of cvs. Capiro and Suprema (*Solanum tuberosum* Group Andigenum). Agronomía Colombiana. 36(2): 126-134.

González, H. y Salamanca, A. 2008. Unidades de suelo representativas de la zona cafetera colombiana. Centro Nacional de Investigaciones de Café, CENICAFÉ. Chinchiná, Colombia. 24 p.

Grime, J., and Hunt, R. 1975. Relative growth-rate: Its range and adaptive significance in a local flora. Journal of Ecology. 63(2): 393-422.

Guzmán, G. 2004. Hidroponía en casa una actividad familiar. Costa Rica. Ministerio de Agricultura y Ganadería. San José, Costa Rica. 25 p.

Hack, J., Bleiholder, H., Feller, C., Hess, M., Meier, U., Van den Boom, T., Buhr, L., Klose, R., Stauss, R. y Weber, E. 1993. Compendio para la identificación de los estados fenológicos de especies mono y dicotiledóneas cultivadas escala BBCH extendida. Bogotá. 120 p.

Harnet, A., Derbew, B., Gebremedhin, W. 2014. Effects of inter and intra row spacing on seed tuber yield and yield components of potato (*Solanum tuberosum* L.) at Ofla Woreda, Northern Ethiopia. African Journal of Plant Science. 8(6): 285-290.

Haverkort, J. A. 1989. Ecology of Potato Cropping Systems in Relation to Latitude and Altitude. Agricultural Systems. 32(3): 251-272.

Hawkes, J. y Ortega, J. 1992. The potato in Spain during the late 16th century. Economic Botany. 46(1): 86-97.

Hayr, K. and Walker, A. 1989. An introduction to the physiology of crop yield. Longman Scientific & Technical. New York. 292 pp. doi.org/10.1017/S0014479700018585.

Hijmans, J. 2001. Global Distribution of the Potato Crop. American Journal of Potato Research. 78(6): 403-412.

Howlader, O. and Hoque, M. 2018. Growth analysis and yield performance of four potato (*Solanum tuberosum* L.) varieties. Bangladesh Journal of Agricultural Research. 43(2): 267-280. ISSN 0258-7122.

Hunt, R. 1982. Plant Growth Curves. Edward Arnold. London. 247 p.

Hunt, R. 1990. Basic Growth Analysis. Plant Growth Analysis for Begginers. Unwin Hyman LTD. London. 112 p.

Hunt, R., Causton, D., Shipley, B. y Askew, A. 2002. A modern tool for classical growth analysis. *Annals of Botany*. 90(4): 485-488. doi: <https://doi.org/10.1093/aob/mcf214>.

Hutchings, M. y De Kroon, H. 1994. Foraging in plants. The role of morphological plasticity in response acquisition. *Advanced Ecological Research*. 25: 159-238.

ICA. 2015. Instituto Colombiano Agropecuario. Resolución 3168 del 2015 por medio del cual se reglamenta y controla la producción, importación y exportación de semillas producto del mejoramiento genético para la comercialización y siembra en el país, así como el registro de las unidades de evaluació. <http://www.ica.gov.co/getattachment/4e8c3698-8fcb-4e42-80e7-a6c7acde9bf8/2015R3168.aspx>. Consulta: Noviembre del 2018.

IGAC. 2013. Levantamiento semidetallado de suelos de algunos sectores del municipio de Pasto, departamento de Nariño. Subdirección de Agrología. Bogotá. 173 p.

INIA. 2016. Manual interactivo densidad de plantación para producción de consumo. Disponible en: <http://manualinia.papachile.cl/?page=consumo&ctn=232>. Consulta: Febrero, 2018.

IPNI. 2007. La deficiencia de fósforo en el cultivo de la papa. Disponible en: [http://www.ipni.net/ppiweb/mexnca.nsf/\\$webindex/8F9CDF09E098EFBA86256D11005FC5BB?opendocument&navigator=conozca+las+deficiencias+de+nutrientes](http://www.ipni.net/ppiweb/mexnca.nsf/$webindex/8F9CDF09E098EFBA86256D11005FC5BB?opendocument&navigator=conozca+las+deficiencias+de+nutrientes). Consulta: Enero, 2019.

Jerez, E., y Martín, R. 2012. Comportamiento del crecimiento y el rendimiento de la variedad de papa (*Solanum tuberosum* L.) Spunta. *Cultivos Tropicales*. 33(4): 53 - 58.

Jerez, E., Martín, R., Morales, D. y Díaz, Y. 2016. Análisis clásico del crecimiento en tres variedades de papa (*Solanum tuberosum* L.). Cultivos Tropicales. 37(2): 79-87.

Jerez, E., Martín, R. y Morales, D. 2016. Comportamiento de la acumulación y distribución de masa seca en tres variedades de papa (*Solanum tuberosum* L.). Cultivos Tropicales. 36 (4): 70-76.

Jerez, E., Martín, R. y Morales, D. 2017. Evaluación del crecimiento y composición por tamaño de tubérculos de plantas de papa para semilla. Cultivos Tropicales. 38(4): 102-110.

Jiménez, F., Agramonte, D., Pérez, M., Pons, M., Rodríguez, M., La O, M., Hurtado, O., Perez, A., Mora, M. 2013. Efecto del sustrato sobre la producción de minitubérculos de papa en casa de cultivo a partir de plantas in vitro. Biotecnología Vegetal. 13(3): 169-180.

Kooman, P. and R. Rabbinge. 1996. An analysis of the relation between dry matter allocation to the tuber and earliness of a potato crop. Annals of Botany. 77(3): 235-242.

Lemaga, B., and Caesar, K. 1990. Relationships between numbers of main stems and yield components of potato (*Solanum tuberosum* L. cv. Erntestolz) as influenced by different daylengths. Potato Res. 33(2): 257-267. <https://doi.org/10.1007/BF02358455>.

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. 78(2): 83-90.

Mackerron, D. K. y Waister, P. D. 1983. Light interception and dry matter accumulation in potato cultivars of contrasting habit. Potato Research. 26: 88- 89.

Magdaleno, H., Flores, H y Ojeda, W. 2014. Predicción fenológica del cultivo de papa mediante tiempo térmico. Rev. Fitotec. Mex. 37(2): 149 – 157.

Mahmood, S. 2005. A Study of Planting Method and Spacing on the Yield of Potato Using TPS. *Asian Journal of Plant Sciences*, 4(2): 102-105.

Mateus, J., de Haan, S., and Rodríguez, A. 2014. Genotype by environment effects on Potato mini-tuber seed production in an aeroponics System. *Agronomy*. 4(4): 514-528.

MADR. 2014. Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural. Diagnóstico de la cadena productiva de la papa. Disponible en: <https://sioc.minagricultura.gov.co/Papa>. Consulta: octubre del 2018.

Marcillo, C., Betancourt, C., Arteaga, G., Salazar, C. 2015. Implementación de un sistema aeropónico para la producción de minitubérculos de papa con buena calidad fitosanitaria. *Asociación Colombiana de Fitopatología y Ciencias Afines*. 39(2): 23-28 p. ISSN 01120-0143.

Martínez, N. y Ligarreto, G. 2005. Evaluación de cinco genotipos promisorios de papa *Solanum tuberosum* sp. *andigena* según desempeño agronómico y calidad industrial. *Agronomía Colombiana*. 23(1): 17-27.

Masarirambi, M., Mandisodza, F., Mashingaidze, A., Bhebhe, E. 2012. Influence of Plant Population and Seed Tuber Size on Growth and Yield Components of Potato (*Solanum tuberosum*). *International Journal of Agriculture and Biology*. 14(4): 545-549.

Mejía, D., Latorre, L., Chaves, D., Córdoba, L., Trejo D., Valencia, F. 2018 La papa se viste de gala. Nariño: Universidad de Nariño. 19 pp.

Miller, P., Lanier, W. y Brandt, S. 2001. Using Growing Degree Days to Predict Plant Stages. Montana State University Extension Service. 9. <https://doi.org/10.1111/j.1744-7348.1991.tb0489>

Milthorpe, F. y Moorby, J. 1982. Introducción a la fisiología de los cultivos. Editorial Hemisferio Sur. Buenos Aires, Argentina. 259 p.

Milton P. and Allen, S. 1995. Breeding Field Crops. Iowa State University Press. Ames, Iowa, USA. 494 p.

Montesdeoca M, F.; Narváez P, G.; Mora C, E.; Benítez B, J. 2006. Manual de control interno de calidad (CIC) en tubérculo-semilla de papa. Ecuador, (INIAP). 50 p.

Mora, R., Ortiz, J., Rivera, A., Colinas, M., Lozoya, H. and Rodríguez, J. 2005. Comportamiento de la acumulación y distribución de biomasa en genotipos de papa establecidos en condiciones de secano. Revista Chapingo Serie Horticultura. 11(1): 135-142.

Mora, A., Ortiz, J., Rivera, A., Mendoza, M., Colinas, M. y Lozoya, H. 2006. Índices de eficiencia de genotipos de papa establecidos en condiciones de secano. Revista Chapinango Serie Horticultura. 12(1): 85 - 94.

Moorby, J. 1970. The production, storage, and translocation of carbohydrates in developing potato plants. Ann. Bot. 34(2): 297- 308.

Naik, P.S. 2000. Potato biotechnology: indian perspective. Central potato research institute. ICAR. India. 143 p.

Naresh, K., Sen, D., Singh, V. and Kumar, S. 2011. Effect of growing media on rooting and growth of Patchouli (*Pogostemon cablin*) cuttings in subtropical humid region of Arunachal Pradesh. Environ. Ecol. 29(2): 567 - 569.

Nganga, S. 1982. Physiological basis of potato crop yield: principles. Potato Seed Production for Tropical Africa. International Potato Center. 13-16.

Ñústez, C., Rozo, G y Rodríguez, L. 2003. Influencia del espaciamiento entre plantas sobre la morfología y el crecimiento de la papa (*Solanum tuberosum* L. cv Parla pastusa) bajo dos ambientes contrastes. *Agronomía Colombiana*. 21(3): 210-219.

Ñústez, C., Santos, M., y Segura, M. 2009. Acumulación y distribución de materia seca de cuatro variedades de papa (*Solanum tuberosum* L.) en Zipaquirá, Cundinamarca (Colombia). *Revista Facultad Nacional de Agronomía – Medellín*. 62(1): 4823-4834.

Ñústez, C. 2011. Variedades colombianas de papa. Universidad Nacional de Colombia. Facultad de Agronomía. Fontagro. Bogotá, Colombia. 46 p. ISBN: 978-958-761-100-7.

Oliveira, A., Rodríguez, J. y Zambelo, S. 2000. Análise de crescimento na cultura da batata a diferentes laminas de irrigacao. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*. 35(5): 901-907.

Ortiz, L. y Flórez, V. 2008. Comparación cuantitativa de ácido abscísico y citoquininas en la tuberización de *Solanum tuberosum* L. y *Solanum phureja* Juz. et Buk. *Agronomía Colombiana*. 26(1): 32-39.

Otazú, V. 2010. Manual on quality seed potato production using aeroponics. International Potato Center (CIP). Lima. 46 p.

Oyarzún, P., Chamorro, F., Córdova, J., Merino, F., Valverde, F. y Velázquez, J. 2002. Manejo Agronómico. In: El cultivo de la papa en Ecuador. Quito: INIAP, CIP. 82 p.

Ozkaynak, E. y Samanci, B. 2005. Yield and yield components of greenhouse, field and seed bed grown potato (*Solanum tuberosum* L.) plantlets. *Akdeniz Universitesi Ziraat Fakultesi Dergisi*. 18 (1): 125-129.

Pereira, A., Villa, N., Ramos, V. y Pereira, A. 2008. Potato potential yield based on climatic elements and cultivar characteristics. *Bragantia*. 67(2): 327-334. <http://dx.doi.org/10.1590/S0006-87052008000200008>.

Pino, M. 2016. Estrés hídrico y térmico en papas, avances y protocolos. Santiago, Chile. Instituto de Investigaciones Agropecuarias. Boletín INIA N° 331. 148p.

Porras, C. y Brenes, A. 2015. Calidad de los tubérculos y componentes de rendimiento de híbridos F1 de papa (*Solanum tuberosum*). *Agronomía Costarricense*. 39(3): 37-46.

Pumisacho, M. y Sherwood, S. 2002. El cultivo de papa en Ecuador. INIAP – CIP. Quito. 229 p. Disponible en: <http://cipotato.org/wpcontent/uploads/Documentacion%20PDF/Pumisacho%20y%20Sherwood%20Cultivo%20de%20Papa%20en%20Ecuador.pdf>. Consulta: Enero, 2019.

Pruski K. 2008. In vitro multiplication through nodal cuttings. *Potato Research*. 50(3-4): 293 - 296.

Queré, B. 2017. Seeds for the Future = Challenges for Potato. *Potato Research*. 60(3-4): 327–329.

Rajwade, V. B., Banafar, R. N. S.; Pathak, A. C. 2000. Growth analysis of potato in relation to biodinamic package and organic manures with chemical fertilizers. *Journal of the Indian Potato Association*. 27(1/2): 55-58.

Ranalli, F., Bassi, A., Ruaro, P. del Re., Candilo, M. Di., and Mandolino, A. 1994. Microtuber and minituber production and field performance compared with normal tubers. *Potato Research*. 37(4): 383- 391.

Ranalli, P., 1997. Innovative propagation methods in seed tuber multiplication programmes. *Potato Res.* 40(4): 439 - 453.

Ríos, J., Jaramillo, S., González, L. y Cotes, J. 2010. Determinación del efecto de diferentes niveles de fertilización de papa (*Solanum tuberosum* ssp. *Andigena*) Diacol Capiro en un suelo con propiedades ándicas de Santa Rosa de Osos, Colombia. *Revista Facultad Nacional de Agronomía – Medellín.* 63(1): 5225-5237.

Rishi rai, L., Diengdoh, C., Srivastava, A. and Bag, T. K. 2012. Efficiency of Different Nodal Segments for Potato Micro-Propagation. *Environment & Ecology.* 30(3): 594 - 597.

Rodríguez, L., Corchuelo, G. y Nústez, C. 2003. Influencia del espaciamiento entre plantas sobre la morfología y el crecimiento de la papa (*Solanum tuberosum* L. cv. *Parda pastusa*) bajo dos ambientes contrastantes. 21(3): 210-219.

Rodríguez, L. 2010. Ecofisiología del cultivo de la papa (*Solanum tuberosum* L.). *Revista Colombiana de Ciencias Hortícolas.* 4(1): 97 – 108.

Rodríguez, L., Moreno, P. 2010. Factores y mecanismos relacionados con la dormancia en tubérculos de papa. Una revisión. *Agronomía Colombiana.* 28(2): 189-197.

Rodríguez, D., Rico, M., Rodríguez, L. y Nústez, C. 2010. Efecto de diferentes niveles y épocas de defoliación sobre el rendimiento de la papa (*Solanum tuberosum* cv. *Parda Pastusa*). *Revista Facultad Nacional de Agronomía, Medellín.* 63(2): 5521–5531.

Rodríguez, L., Sanjuanelo, D., Nústez, C. and Moreno, L. 2016. Growth and phenology of three Andean potato varieties (*Solanum tuberosum* L.) under water stress. *Agronomía Colombiana.* 34(2): 141-154.

Rodríguez, L. 2017. Análisis genético y molecular para rendimiento y periodo de reposo de tubérculos en papa a nivel diploide (*S. bukasovii* x *S. tuberosum* grupo Phureja). Tesis PhD. Facultad de Ciencias Agrarias, Universidad Nacional de Colombia, Bogotá. 175p.

Rojas, P. y Seminario, J. 2014. Productividad de diez cultivares promisorios de papa chaucha (*Solanum tuberosum* grupo Phureja) de la región Cajamarca. *Scientia Agropecuaria* 5(4): 165-175.

Romero, A., Alarcón, A., Valbuena, R and Galeano, C. 2017. Physiological assessment of water stress in potato using spectral information. *Frontiers in Plant Science*. 8:1608.

Rykaczewska, K. 2016. The potato minituber production from microtubers in aeroponic culture. *Plant Soil Environ*. 62(5): 210–214.

Salazar, L. 1996. Potato Viruses and Their Control. International Potato Center (Centro Internacional de la Papa - CIP). Perú. 214 p.

Saldaña, T., Patiño, J. and Cotes, J. 2015. Biomass distribution and allocation in diploid potato varieties (*Solanum phureja* Juz. et Buk.). *Agronomía Colombiana*. 33(3): 322-329. Doi: 10.15446/agron.colomb.v33n3.50237.

Sánchez, J., López, A. y Rodríguez, L. 2005. Determinación de las etapas críticas en el desarrollo fenológico del cultivo de la papa *Solanum phureja*, frente al ataque de la polilla guatemalteca *Tecia solanivora* (Lepidóptera: Gelechiidae). *Agronomía Colombiana*. 23(2): 230-238.

Santos, M., Segura, A., López y Ñustez, C. 2010. Análisis de crecimiento y relación fuente-demanda de cuatro variedades de papa (*Solanum tuberosum* L.) en el Municipio de Zipaquirá (Cundinamarca, Colombia), *Revista Facultad Nacional de Agronomía – Medellín*. 63(1): 5253-5266.

Santos, M. 2010. Evaluación del crecimiento, desarrollo y componentes de rendimiento de cuatro cultivares de papa criolla en dos localidades del departamento de Cundinamarca. Tesis de MSc. Facultad de Agronomía, Universidad Nacional de Colombia, Bogotá. 126p.

Segura, M., Santos, M. y Núñez C. 2006. Desarrollo fenológico de cuatro variedades de papa (*Solanum tuberosum* L.) en el municipio de Zipaquirá (Cundinamarca). Fitotecnia Colombiana. 6(2): 33-43.

Seminario, J. y Zarpán, L. 2011. Conservación *in situ* on farm-*ex situ* de *Solanum tuberosum* L. grupo Phureja en la cuenca del Llaucano y áreas adyacentes. Araldoa 18 (2):103-114.

Seminario, J., Seminario, A., Domínguez, A., Escalante, B. 2017. Rendimiento de cosecha de diecisiete cultivares de papa (*Solanum tuberosum* L.) del grupo Phureja. Scientia Agropecuaria. 8 (3): 181 – 191.

Seminario, J., Villanueva, C. y Valdez, G. 2018. Rendimiento de cultivares de papa (*Solanum tuberosum* L.) amarillos precoces del grupo Phureja. Agronomía Mesoamericana. 29 (3): 639 - 653. DOI: <https://doi.org/10.15517/ma.v29i3.32623>.

Sharma, A., Venkatasalam, E, Kumr, V. 2013. Potato minituber production during main off crops seasons in high hills of north-western Himalaya. Potato Journal. 40(1): 29-37.

Shukla, G., Chakrabarti, S. and Dey, A. 2007. Effect of growing media on germination and initial seedling growth of *Albizia procera* (Roxb.) Benth. in teria zone of West Bengal. Environment and Ecology. 25(2): 406 - 407.

Sifuentes, E., Ruelas, J., Cervantes, J., Talamantes, I., Palacios, C., y Valenzuela, B. 2015. Fenología y tiempo en el manejo del riego y fertilización del cultivo de papa. 17(3): 42-48. DOI: 10.18633/bt.v17i3.218.

Silva, A., Albornoz, C. y Criollo, E. 2018. Efecto del potasio y la densidad de siembra en la producción de papa *Solanum tuberosum* Grupo Phureja var. Criolla Guaneña. *Temas agrarios*. 23(1): 37-46.

Soto, A., Cotes, J. y Rodríguez, D. 2018. Modelo de simulación del crecimiento y desarrollo de la papa criolla. *Ciencia en Desarrollo*. 9(1):9-20.

Spooner, D., McLean, K., Ramsay, G., Waugh, R. y Bryan, G. 2005. A single domestication for potato based on multilocus amplified fragment length polymorphism genotyping. *Proc. Natl. Acad. Sci.* 102(41): 14694–14699.

Spooner, D., Núñez, J., Trujillo, G., Herrera, M. del R., Guzmán, F. y Ghislain, M. 2007. Extensive simple sequence repeat genotyping of potato landraces supports a major reevaluation of their gene pool structure and classification. *Proceedings of the National Academy of Sciences*. 104(49): 19398-19403.

Spooner, D., Gavrilenko, T., Jansky, S., Ovchinnikova, A., Krylova, E., Knapp, S., & Simon, R. 2010. Ecogeography of ploidy variation in cultivated potato (*Solanum* sect. *Petota*). *American journal of botany*. 97(12): 2049-2060.

Struik, P.C. and Wiersema, S.G. 1999. *Seed Potato Technology*. Wageningen Perss, Wageningen. 216 p.

Suarez, M., and Torres, J. 2014. Nutrient uptake of the criolla potato (*Solanum phureja* var. Galeras) for the determination of critical nutritional levels. *Agronomía Colombiana*. 32(1): 59-69.

Sukhotu, T. y Hosaka, K. 2006. Origin and evolution of Andigena potatoes revealed by chloroplast and nuclear DNA markers. *Genome* 49(6): 636-647.

Tekalign, T. and Hammes, P. 2005. Growth and productivity of potato as influenced by cultivar and reproductive growth II. Growth analysis, tuber yield and quality. *Scientia Horticulturae*. 105(1): 29 - 44.

Tesfaye, G., Derbew, B., Solomon, T. 2013. Combined effects of plant spacing and time of earthing up on tuber quality parameters of potato (*Solanum tuberosum* L.) at Degem district, North Showa zone of Oromia regional state. *Asian Journal of Crop Science*. 5(1): 24-32.

Tinjacá, S. y Rodríguez, L. 2015. Catálogo de papa nativa de Nariño. 1ra edición. Bogotá: Universidad de McGill. 140 p.

Tirado, R., y Tirado, R. 2018. Comportamiento de parámetros biométricos de clones para la obtención de papa baby con pulpa pigmentada. *Scientia Agropecuaria*. 9(3): 401-410.

Upreti, G.S. 1977. Development of Virus-Tested Nucleus Stocks. *Contrib. Recent Technology in Potato Improvement and Production*. CPRI, Shimla. 332 pp.

Valbuena, R., Roveda, G., Bolaños, A., Zapata, J., Medina, C., Almanza, P., y Porras, D. 2010. Escalas fenológicas de las variedades de papa Parda Pastusa, Diacol Capiro y Criolla “Yema de Huevo” en las zonas productoras de Cundinamarca, Boyacá, Nariño y Antioquia. CORPOICA. Mosquera, Cundinamarca. Produmedios. 56p.

Veneros, J. 2014. Distribución potencial de *Phthorimaea operculella* (Zeller), bajo condiciones del clima actual y un escenario de cambio climático. Tesis para optar por el grado de Magíster Scientiae en Ciencias Ambientales. Universidad Nacional Agraria La Molina. Lima- Perú. 152p.

Villa, P., Sarmiento, L., Rada, F., Machado, D. and Rodrigues, A. 2017. Leaf area index of potato (*Solanum tuberosum*L.) crop under three nitrogen fertilization treatments. *Agronomía Colombiana*. 35(2): 171-175. Doi: 10.15446/agron.colomb.v35n2.62110.

Vreugdenhil, D., Bradshaw, J., Gebhardt, C., Govers, F., MacKerron, D., Taylor, A. y Heather, A. 2007. *Potato biology and biotechnology: Advances and perspectives*. Elsevier, Amsterdam. 857 p.

Wróbel, S. 2015. Assessment of potato microtuber and in vitro plantlet seed multiplication in field conditions—Growth, development and yield. *Field Crops Research*. 178: 26 - 33. doi.org/10.1016/j.fcr.2015.03.011.

Wu, J., Wang, D. y Bauer, M. 2007. Assessing broadband vegetation indices and Quick Bird data in estimating leaf area index of corn and potato canopies. *Field Crops Research*. 102 (1): 33-42.

Wurr, D. 1974. Some aspects of seed size and spacing on the yield and grading of two main crop potato varieties: II Bulking rate. *J. Agric. Sci.* 82: 47–52.