

Comparación fenológica de dos clones de papa criolla (*Solanum phureja* Juz et Buck L.) en el municipio de Chitagá, Norte de Santander.

Yeison Alexander Páez Piñeros

Código: 1.094.273.963

Director:

I.A MSc. César Villamizar Quiñones

Universidad de Pamplona

Facultad de Ciencias Agrarias

Departamento de Agronomía

Trabajo de Grado – Modalidad Investigación

Mayo de 2017

**Comparación fenológica de dos clones de papa criolla (*Solanum phureja* Juz et Buck L.) en
el municipio de Chitagá, Norte de Santander.**

Yeison Alexander Páez Piñeros

1.094.273.963

**Trabajo de grado presentado como requisito
parcial para optar al título de Ingeniero Agrónomo.**

Director:

I.A MSc. César Villamizar Quiñones

Profesor Asociado Facultad de Ciencias Agrarias.

Universidad de Pamplona

Facultad de Ciencias Agrarias

Departamento de Agronomía

Trabajo de Grado – Modalidad Investigación

Mayo de 2017

Dedicatoria.

A mi madre:

Nubia Esperanza Piñeros Torres, por ser la persona que me ha brindado su apoyo a cada instante de mi vida, por haber creído en mi sueño que ya pronto se cumplirá.

A la memoria de mi padre:

Luis Humberto Páez Garza, por haberme educado y promulgado los valores desde mi infancia gracias a esa educación he labrado mi destino.

A mi abuela:

Marina Torres Báez, por ser como mi segunda madre, y haberme brindado su apoyo incondicional durante el trayecto de mis estudios.

A mi hermano:

Carlos Humberto Páez Piñeros, por ser inspiración en mi educación y por mantenernos unidos como una familia.

A mi Hijo:

Sebastián Camilo Páez Gelvez, por ser la fuente de mi lucha diaria, y motivo para ser cada día mejor.

Agradecimientos.

A la institución: Por permitirme ser parte de la familia Unipamplona y brindarme la oportunidad de formarme como un profesional.

A los docentes: Por sus sabios consejos, y por haber compartido sus conocimientos para mi formación académica y como mejor persona.

A Cesar Villamizar Quiñonez: Por su colaboración y dedicación a lo largo de este trabajo.

A don Alberto Villamizar: Por permitir realizar investigaciones en su predio.

A la docente Gladys Montañez: Por haberme ayudado en los análisis estadísticos de este trabajo de investigación.

A Jessyka Villamizar: Por su apoyo incondicional.

A mi amigo Ithonatan Lara: Por su colaboración y sus consejos.

Tabla de contenido

Capítulo 1	1
Introducción	1
1 Problema	2
1.1 Planteamiento y descripción del problema.	2
2 Justificación.	3
3 Delimitación.	4
4 Objetivos	5
4.1 Objetivo general.....	5
4.2 Objetivos específicos	5
Capítulo 2	6
5 Marco de referencia	6
5.1 Antecedentes	6
5.1.1 Internacionales.	6
5.1.2 Nacionales.....	8
5.1.3 Regionales.....	10
5.2 Marco contextual.	13
5.2.1 Límites geográficos.....	14
5.2.2 Ubicación geográfica del proyecto de investigación.	14
5.2.3 Coordenadas, altura y temperatura promedio.	14
5.3 Marco teórico.....	15
5.3.1 Generalidades del cultivo de papa.	15
5.3.2 Generalidades de la variedad criolla.	15
5.3.3 Clasificación taxonómica.	16
5.3.4 Condiciones de desarrollo para el cultivo de papa criolla.	16
5.3.5 Morfología de la planta de papa criolla.	17
5.3.6 Fisiología de la planta de papa.....	20
5.3.7 Desarrollo de la planta de papa.....	21
5.3.8 Grados calor día	23
5.3.9 Programas informáticos estadísticos.....	23
5.4 Marco legal.	24
5.4.1 Resolución ICA 04000 del 30 de diciembre de 1997.	24
5.4.2 Acuerdo No.186 de la Universidad de Pamplona.....	24
Capítulo 3	26
6 Metodología	26
6.1 Diseño metodológico.	26
6.2 Datos del material vegetal.....	26

6.3	Diseño experimental.	26
6.4	Variables evaluadas	27
6.4.1	Grados calor día	27
6.4.2	Tipo de muestra destructiva	28
6.4.3	Tipo de muestra no destructiva	29
6.4.4	Variables agronómicas y rendimiento.	31
6.5	Manejo agronómico.	31
6.6	Análisis estadísticos de los datos	32
Capítulo 4		34
7	Resultados y discusión	34
7.1	Crecimiento y desarrollo de los materiales.	34
7.1.1	Índices de crecimiento.	34
7.1.2	Acumulación de materia seca total y por órgano.	41
7.2	Fenología y grados calor día	45
7.2.1	Escala descriptiva de los estadios fenológicos	45
7.3	Relación de las variables agronómicas con el rendimiento	50
7.3.1	Rendimiento	55
	Conclusiones	57
	Recomendaciones	58
	Referencias	59
	Anexos	65

Lista de Tablas

Tabla 1. Clasificación taxonómica de la papa criolla.	16
Tabla 2. Fórmulas y unidades para índices de crecimiento.	21
Tabla 3. Registro y origen de colecta de los clones nativos de papa criolla.	26
Tabla 4. Escala descriptiva de los estados fenológicos de desarrollo de la papa <i>Solanum tuberosum</i> L.	30
Tabla 5. Resultados de las pruebas en los índices de crecimiento de los clones de papa.	41

Lista de Figuras

Figura 1. Ubicación del municipio de Chitagá Norte de Santander.	14
Figura 2. Planta de papa <i>Solanum</i> sp.	18
Figura 3. Croquis del modelo experimental. Fuente: Autor	27
Figura 4. Tasa de Crecimiento Relativo (TCR) en los clones 2 y 5.	35
Figura 5. Tasa de Asimilación Neta (TAN) en los clones 2 y 5.	37
Figura 6. Tasa Absoluta de Crecimiento (TAC) en los clones 2 y 5.	38
Figura 7. Tasa de Crecimiento del Cultivo (TCC) en los clones 2 y 5.	40
Figura 8. Acumulación de materia seca en hojas de los clones.	42
Figura 9. Acumulación de materia seca en tallos de los dos clones.	42
Figura 10. Acumulación de materia seca en los tubérculos de los clones.	43
Figura 11. Acumulación de la materia seca de los clones por órgano.	44
Figura 12. Acumulación de la materia seca total de la planta.	45
Figura 13. Descripción de las etapas fenológicas relacionadas con los grados calor día y los días después de la germinación.	49
Figura 14. Acumulación de los grados calor día en las etapas fenológicas.	50
Figura 15. Rendimiento en categorías por hectárea.	55
Figura 16. Rendimiento por clon (t/ha).....	56

Lista de Anexos

Anexo 1. Valor de los índices de crecimiento.	65
Anexo 2. Inicio de floración.	66
Anexo 3. Cobertura total del cultivo.	66
Anexo 4. Senescencia de la planta.	67
Anexo 5. Recolección de muestras destructivas.	67
Anexo 6. Empacado de la muestra.	68
Anexo 7. Muestra completa.	68
Anexo 8. Secado de muestras en horno.	69
Anexo 9. Peso de hojas secas.	69
Anexo 10. Recolección de los tubérculos.	70
Anexo 11. Clasificación de tubérculos por categorías.	70
Anexo 12. Peso de tubérculos por clasificación.	71

Capítulo 1

Introducción

En Colombia el cultivo de la papa se encuentra diseminado en 14 departamentos, presentando diversos sistemas de producción y adaptado a una amplia gama de sistemas agroecológicos (Martinez, Barrios, & Acevedo, 2004). Su producción casi siempre se considera marginal al de la producción de la papa común.

La papa criolla (*Solanum phureja*) es una especie que posee gran diversidad de genotipos, y por ende presenta variantes en sus componentes fisiológicos y fenológicos, estos determinan las variables de eficiencia biológica y de productividad, así como las prácticas de manejo agronómico apropiadas para mejorar el desempeño del cultivo. Además, el crecimiento depende de múltiples factores ambientales, dentro de los que se destacan la temperatura y la intensidad de radiación solar, debido a que el primero modula la velocidad de las reacciones enzimáticas y el segundo está relacionado directamente con la actividad fotosintética de las plantas. Teniendo en cuenta que estos factores ambientales varían con la altitud y que el cultivo de papa criolla se encuentra diseminado en regiones que van desde los 2.200 hasta los 3.500 m s. n. m., con un rango de temperatura desde 10 °C hasta 15 °C, es de esperarse que las plantas de papa presenten diferencias en los procesos fisiológicos de desarrollo, crecimiento y partición de asimilados a lo largo de estos rangos (Santos, 2010).

Mediante la evaluación de pruebas agronómicas y en alianza con CORPOICA y un productor de la región, se identificaron como promisorios los clones 2 y 5 por tener un mayor rendimiento para el agroecosistema de la hacienda Carrillo ubicado en la vereda Carrillo en el municipio de Chitagá, Norte de Santander. En este trabajo se realizó el estudio fenológico de estos dos clones en las condiciones climáticas de donde fueron establecidos.

1 Problema

1.1 Planteamiento y descripción del problema.

En la agricultura ocurren malos manejos agronómicos debido a que se desconoce el desarrollo fenológico de las plantas, la rapidez con la que una planta se desarrolla puede variar según las condiciones climáticas y la información genética del material utilizado. El cultivo de papa criolla es importante para la agricultura en Chitagá, porque permite la diversificación de la producción y está asociada como un sistema de rotación con hortalizas y praderas. A raíz de esto, la Universidad de Pamplona en convenio con CORPOICA, está evaluando nuevos materiales de papa criolla, encontrando nuevos clones promisorios, estos no cuentan con estudios sobre la fenología en las condiciones agroecológicas de Chitagá. Cada material genético se expresa diferente, es importante resaltar que la temperatura influye en los procesos de desarrollo por esta razón no se puede excluir su efecto y en consecuencia se midieron los grados calor día con el objetivo de determinar la cantidad que requiere cada clon para pasar a la siguiente etapa fenológica. Como resultado se obtuvo una escala fenológica ajustada a las condiciones climáticas de Chitagá, generando así información básica para que los agricultores cuenten con mayores elementos para el manejo del cultivo. Con estos elementos, los agricultores y asistentes técnicos determinaran el momento preciso en el cual las labores ejecutadas tendrán un mayor provecho para la plantación, así mismo podrán establecer modelos de producción acordes con las condiciones climáticas de la zona y proyectar prácticas culturales desde el establecimiento del cultivo hasta la cosecha.

2 Justificación.

La papa está entre los primeros cuatro cultivos importantes para suplir la dieta alimentaria a nivel mundial. En Colombia la producción se encuentra distribuida en 250 municipios de la zona fría del país y su producción está conformada por los pequeños productores que concentran el 45% de la producción y se consideran aquellos que siembran hasta 3 hectáreas, los medianos hasta 10 hectáreas y representan el 35% y los grandes de 10 en adelante y son el 20% de la producción (García, 2014).

La papa criolla se cultiva en pequeñas áreas al margen del cultivo de papa común, en surcos dentro del mismo, o en huertas familiares. Los principales departamentos productores en Colombia son: Cundinamarca, Boyacá, Nariño, Antioquia, Cauca, Norte de Santander y Santander (García, 2014).

En la actualidad se dispone de suficiente información sobre los factores climáticos, edáficos y biológicos involucrados en la duración del ciclo biológico y producción de los cultivos, sin embargo, es bastante frecuente encontrar que para referirse a un momento determinado de su ciclo biológico se haga en términos de una escala de tiempo (Días Después de la Siembra, DDS) relacionándola con las observaciones y prácticas que se llevan a cabo en ellos sin tomar en cuenta el efecto de tales factores sobre la morfología de las plantas (INIA, s.f.).

El ciclo biológico cambia con el genotipo y con los factores del clima, esto quiere decir, que las plantas del mismo genotipo sembradas bajo diferentes condiciones climáticas pueden presentar diferentes estados de desarrollo después de transcurrido el mismo tiempo cronológico. Por lo que cada vez cobra mayor importancia el uso de escalas fenológicas que permiten a la vez, referirse a las observaciones y prácticas de manejo del cultivo en una etapa de desarrollo determinado (INIA, s.f.).

La fenología de cada material vegetal está directamente relacionada con cantidades de unidades de calor, también se les conoce como grados calor día ($^{\circ}\text{CD}$), para que una planta pase a la siguiente etapa fenológica debe de acumular una cantidad respectiva de grados calor. Es por esta razón que el comportamiento del desarrollo y crecimiento de cada material varía según las condiciones en las que se encuentre.

En el país se produce papa criolla durante todo el año, el área destinada para la producción de papa criolla es de 133.865 hectáreas calculadas para el año 2012, dispersas en 250 municipios de la zona fría y muy fría andina (FEDEPAPA, 2010).

Mediante un convenio con CORPOICA se ha impulsado la investigación en materiales genéticos de papa criolla para diferentes localidades de Norte de Santander, para esto se han venido desarrollando diferentes pruebas de evaluación agronómica con el objetivo de determinar los materiales que mejor se expresaron para su respectivo lugar de investigación. Una de las localidades de estudio fue la Hacienda Carrillo perteneciente a la vereda Carrillo ubicada en el municipio de Chitagá. Ahora surge la necesidad de conocer el desarrollo fenológico de los dos clones promisorios, para que los agricultores puedan establecer los manejos agronómicos en una etapa más precisa con el fin de obtener mejores resultados y rentabilidad en el cultivo.

3 Delimitación.

La investigación se ejecutó en la época de baja precipitación, a mediados del cuarto trimestre anual, con el objetivo de determinar la escala fenológica para los clones 2 y 5, especificando los grados calor día acumulados en cada estado de su fenología, también se relacionaron variables agronómicas como número de tallos por planta, diámetro del tallo principal, altura de la planta y número de tubérculos con el rendimiento de los materiales a investigar.

4 Objetivos

4.1 Objetivo general

Comparar el desarrollo fenológico de dos clones promisorios de papa criolla en el municipio de Chitagá.

4.2 Objetivos específicos

Evaluar el desarrollo mediante los índices de crecimiento en los dos materiales de papa criolla.

Relacionar comparativamente las etapas fenológicas de los dos clones con los grados calor día.

Relacionar estadísticamente las variables agronómicas con el rendimiento de cada uno de los clones.

Capítulo 2

5 Marco de referencia

5.1 Antecedentes

5.1.1 Internacionales.

5.1.1.1 Predicción fenológica del cultivo de papa mediante tiempo térmico. El objetivo del estudio realizado por Flores Magdaleno, Flores Gallardo, & Ojeda Bustamante (2014) fue evaluar tres métodos para predecir la fenología en el cultivo de papa (*Solanum tuberosum L.*) mediante tiempo térmico, para lo cual se trabajó con un total de 15 parcelas a nivel comercial sembradas con la variedad 'Alpha' en el norte de Sinaloa, México. Los métodos comparados fueron: temperatura media, grados día (°D) y días fenológicos de papa (P-days). Los tres calculados con los datos obtenidos mediante el monitoreo en campo de cada fase fenológica durante los ciclos agrícolas otoño-invierno 2005-2006 y 2006-2007. Los resultados indicaron que el mejor método para predecir la fenología de esta variedad de papa con base en el tiempo térmico fue el P-days, porque presentó los menores valores de coeficiente de variación con 0.07 y de desviación estándar con 18.03 para todas las etapas fenológicas analizadas. Al comparar los errores encontrados para cada método en el grupo de parcelas en las que se determinaron las necesidades térmicas más un grupo de otras parcelas usadas para validar dichas necesidades, se confirmó que el método P-days tuvo menores errores.

5.1.1.2 Crecimiento, contenido de azúcares y capacidad de brotación en semilla tubérculo de papa (*Solanum tuberosum L.*). El propósito de la presente investigación realizada por Morales en el 2011 fue estudiar los aspectos de fenología y rendimiento de papa tanto en semilla-tubérculo inmadura como en aquellas con madurez completa, y determinar el contenido de azúcares solubles en tubérculos con diferente estado de madurez y fisiológico, y la relación de

éstos en el proceso de brotación. Todos los experimentos se establecieron bajo el diseño de bloques completos al azar. Alpha fue la que registró el ciclo de cultivo más largo (1215 grados día) entre todas las variedades y Mondial la más sobresaliente en el rendimiento. La semilla-tubérculo con grado de madurez dos (37 días después del inicio de tuberización), tuvo un comportamiento similar a la de madurez completa, tanto en el ciclo biológico (1197 grados día) como en el rendimiento de tubérculo (273 g). El mayor contenido de sacarosa y azúcares reductores (glucosa y fructosa) se presentó a los 21 días después del inicio de tuberización (10.25 mg·g⁻¹), mientras que en los tubérculos en estado fisiológico de dominancia apical (109 días después de la cosecha, DDC), brotación múltiple (153 DDC) y senectud (237 DDC), concentraciones de estos azúcares (7.10 a 7.89 mg·g⁻¹). La variedad Vivaldi registró el mayor contenido de azúcares totales en los diferentes estados de madurez y fisiológicos del tubérculo. La longitud y peso del brote aumentaron, a medida que se incrementó la concentración de azúcares reductores y totales en el tubérculo, en promedio de variedades, y de manera individual en Alpha y Gigant con los azúcares totales y en Vivaldi con los reductores.

5.1.1.3 Estudio de la fenología de cinco variedades de papa (*Solanum tuberosum* L.) en dos épocas de siembra. En la Estación Experimental Santa Catalina, Yanez Navarrete en 1999 realizó un estudio del comportamiento fenológico de cinco variedades de papa. En éstas, se establecieron los días transcurridos desde la siembra hasta la ocurrencia de los siguientes eventos: emergencia, floración (inicio-duración), tuberización (inicio-duración), senescencia (inicio-duración), y madurez fisiológica de tubérculos; determinándose además, para el inicio de estos, la cantidad de unidades calor (UC) acumuladas. También se evaluó el rendimiento y aspectos de calidad en los tubérculos como el contenido de materia seca y de azúcares reductores.

Entre los resultados destacables podemos indicar que para la emergencia el tiempo presentado por las variedades fue estadísticamente diferente, I-Fripapa fue la más precoz con 16 días, la más tardía fue Superchola con 26 días; las variedades Margarita, María y Gabriela emergieron a los 20, 21 y 22 días respectivamente, no existieron diferencias entre épocas siendo el promedio de 21 días. Para la fase de floración la variedad I-Fripapa fue la más precoz en ambas épocas con 64 y 65 días, mientras que las variedades Superchola, Gabriela, María y Margarita alcanzaron ésta fase a los 77, 79, 76 y 73 días respectivamente. El promedio para ésta fase en las variedades Superchola, Gabriela, Maria, Fripapa y Margarita, siguiendo en el mismo orden, fue de 73, 75, 74, 64 y 72 días.

5.1.2 Nacionales.

5.1.2.1 Evaluación del crecimiento, desarrollo y componentes de rendimiento de cuatro cultivares de papa criolla en dos localidades del departamento de Cundinamarca. Esta investigación fue realizada Santos en el 2010 con el objetivo de evaluar el desarrollo, crecimiento, relación fuente-demanda y rendimiento de cuatro cultivares de papa criolla: Criolla Colombia, C. Guaneña, C. Latina y C. Galeras, en dos localidades del municipio de Chipaque (Cundinamarca) en altitudes de 2.572 y 2.859 m s. n. m. Semanalmente se realizaron muestreos destructivos para determinar los estados de desarrollo fenológico, Área Foliar (AF) y Materia Seca (MS), para la obtención de los modelos de crecimiento a partir de análisis funcional, índices de crecimiento como son la Tasa Absoluta de Crecimiento (TAC), Tasa Relativa de Crecimiento (TCR), Tasa de Asimilación Neta (TAN) y Tasa de Crecimiento del Cultivo (TCC) y potenciales de fuente y demanda durante el ciclo de cultivo; a la cosecha se determinó el rendimiento y la gravedad específica. Los resultados mostraron ligeras diferencias en la duración del ciclo de cultivo entre las localidades evaluadas, principalmente por diferencia en temperatura. El área

foliar mostró valores entre 7.597,50 cm² y 20.558,47 cm², siendo el cultivar C. Guaneña el de mayor valor máximo. La acumulación de materia seca total y el índice de cosecha fueron superiores en los cultivares mejorados con respecto al cultivar nativo C. Colombia en las dos localidades. C. Guaneña presentó los mayores valores de TAC, TCR y TCC, y también alcanzó valores altos de TAN y PFE, que indican una alta eficiencia fotosintética. En los potenciales de fuente y demanda se observaron valores más altos en los cultivares mejorados Guaneña, Galeras y Latina que en el cultivar C. Colombia, condición que se reflejó en el mayor rendimiento obtenido por esos cultivares, que estuvo en un rango promedio de 25,6 a 49,6 t ha⁻¹.

5.1.2.2 Análisis funcional de crecimiento y desarrollo de cuatro variedades de papa (*Solanum tuberosum* subsp. *Andigena*). Este trabajo fue desarrollado por Gaitán Moreno, González Mogollón, Ñustez Lopez, Saldaña Villota, & Cotes Torres, (2013) bajo las condiciones ambientales de la Sabana de Bogotá, se realizó un análisis de crecimiento funcional en las variedades de papa Monserrate, Única, Zipa y Morita pertenecientes a la especie *Solanum tuberosum* subsp. *Andigena*. Se establecieron parcelas únicas de 90 m² a una densidad de 33.333 plantas ha⁻¹. Semanalmente se evaluó el peso seco por órgano y el área foliar a partir de la semana siete, en dos plantas por variedad. Se calculó la tasa relativa de crecimiento, tasa de crecimiento del cultivo, relación área foliar, tasa de asimilación neta, área foliar específica e índice de área foliar. La variedad Única tuvo el mejor rendimiento por planta, no almacena fotoasimilados de forma temporal en los tallos y el llenado de los tubérculos tiene una duración de 12 semanas. La variedad Monserrate tuvo el segundo mejor rendimiento por planta, almacena fotoasimilados temporalmente en los tallos vegetativos durante una semana y el tiempo de llenado de los tubérculos dura 9 semanas. Las variedades Morita y Zipa muestran un comportamiento intermedio en su análisis de crecimiento respecto a las otras variedades

estudiadas, sin embargo, en términos de producción, Morita es la variedad que tuvo el menor rendimiento por planta, incluso por unidad de área.

5.1.3 Regionales.

5.1.3.1 Evaluación de la producción agronómica de la papa criolla (*Solanum phureja* Juz. et Buk.) orgánica, en la vereda Monteadentro del Municipio de Pamplona. La finalidad del presente proyecto realizado por los estudiantes Guillen López & Gómez García de la Universidad de Pamplona donde la finalidad fue adoptar un modelo de agricultura que asegure el manejo racional de los recursos, la inocuidad, el mejoramiento de la calidad de vida de los productores y consumidores en términos de salud, fortalecimiento social y económico, de tal manera que asegure la sostenibilidad presente y futura de esta actividad productiva.

El T1 tuvo una acumulación de GDC para el primer estado fenológico de (131,75), para el segundo estado fenológico de (85,05), y para el tercero y cuarto estado fenológico una acumulación de (97,85). El primer estado fenológico obtuvo más acumulación debida a que el cultivo en este periodo duro 49 DDS en comparación con los demás estados fenológicos que fueron de menos días. El T2 tuvo una acumulación de los GDC total por cada estado fenológico de (314,65). En el T3 la acumulación de los grados días calor para el periodo vegetativo fue de (128,5), la acumulación en la floración fue de (85,05), en tuberización, muerte y senescencia se tuvo una acumulación de (97,85). La acumulación total para el T3 fue más baja que en el T1 y T2 debido a que entro más rápido en floración con una acumulación total de (311, 4) mientras el T1 y T2 tuvieron una acumulación total de (314,65) teniendo una diferencia de 2 días para entrar a floración más del 50% de las plantas de dichos tratamientos. Ellos concluyeron que la escala fenológica para la zona de estudio fue de una duración de 104 días en comparación a la

establecida por la escala internacional BBCH de 120 días para la papa criolla (*S. phureja*), var. Criolla Colombia; debido a condiciones agroclimáticas, fenómeno del niño y topografía.

5.1.3.2 Evaluación del rendimiento agronómico de diez clones de papa criolla, (*Solanum phureja* Juz et Buck L.) En el municipio de Mutiscua, Norte de Santander. Este estudio fue realizado por el estudiante de la Universidad de Pamplona Jorge Cesar Cisneros Figueroa en el año 2015 donde evaluó el rendimiento agronómico de diez clones de papa criolla (*Solanum phureja* Juz et Buck L.) en el municipio de Mutiscua, Norte de Santander. Donde determino que los clones 5, 6, 8, 9 y 10 presentaron rendimiento promedios de 4.7 a 7.0 t/ha. En la categoría primera, el clon que presento mayor rendimiento fue el 7 con 10.9 t/ha y los que superaron al testigo, son los clones 2, 3, 5, 6, 7, 8 y 9. La categoría segunda fue la que contribuyo más en el rendimiento, donde el clon 4 presento una superioridad al testigo y a los demás clones evaluados con rendimientos de 19.2 t/ha y en la categoría riche el clon 10, 4 y 3 presentaron superioridad en rendimiento respecto al testigo.

5.1.3.3 Comparación del potencial de rendimiento de diez clones nativos de papa criolla (*Solanum phureja* Juz et Buk) en dos ciclos productivos en el Municipio de Chitagá – Norte de Santander. Este trabajo fue realizado por Luisa Fernanda Villamizar Carrillo estudiante de la Universidad de Pamplona en el año 2015 donde evaluó el rendimiento de los clones en los dos ciclos productivos. Obteniendo como resultado que en el primer ciclo obtuvo mayor rendimiento, el clon 2 (42.7 t ha⁻¹) y el clon 9 (42.3 t ha⁻¹), superaron al testigo (42 t ha⁻¹), en términos generales, todos los clones obtuvieron buena adaptación a las condiciones climáticas secas que se presentaron en el municipio de Chitagá durante el primer ciclo.

Para el segundo ciclo, a pesar del incremento notable en las precipitaciones, el clon 2 (18.4 t ha⁻¹) y el clon 9 (15.9 t ha⁻¹) superaron el testigo (15.2 t ha⁻¹) y también el promedio nacional pero no el promedio departamental.

5.1.3.4 Evaluación de la fertilización sobre el rendimiento de cuatro clones de papa criolla (*Solanum phureja* Juz et Buk) en el municipio de Chitagá. Esta investigación fue realizada por Jhonatan Lara López, el objetivo fue evaluar los efectos de cuatro dosis de fertilización en el rendimiento de cuatro clones de papa criolla en el municipio de Chitagá, a una altura de 2.040 m s. n. m., con una temperatura promedio de 17°C, suelos con más de un año de descanso, donde se utilizaron clones seleccionados de estudios anteriores, se evaluaron cuatro variables de rendimiento para determinar que dependencia tenían en el rendimiento del peso de los tubérculos.

La recomendación técnica para la fertilización fue tomada en cuenta en base de los resultados del análisis de suelo, donde se determinaron cuatro dosis así, la primera dosis fue una dosis manejada como practica cultural por el agricultor, la segunda dosis de fertilizante en base al análisis de suelo, tercera dosis en base al análisis de suelo más el 50% de fertilizante y cuarta dosis en base al análisis de suelo menos el 20% de fertilizante.

Las variables de rendimiento para el estudio fueron: número de tallos, grosor de los tallos, altura de la planta y área foliar de la planta, todas estas variables fueron tomadas únicamente en época de plena floración del cultivo, momento en el cual el cultivo tiene su máxima expresión.

Al momento de la cosecha se evaluaron los tubérculos, estimando el peso por categorías dependiendo su tamaño, en la cual se clasificaron en cuatro tamaños cero, primera, segunda y

riche, siendo riche el tamaño más pequeño. También se les realizó una evaluación sanitaria a los tubérculos para determinar la presencia de patógenos en el cultivo.

Como resultados se encontró que no hubo diferencia significativa en las comparaciones de clones, todos se comportaron en cuanto al rendimiento muy parecidos presentando los mayores rendimientos los clones 2 y 5, las dosis de fertilizante con respecto al rendimiento en kilogramos por hectárea presentaron diferencias, mostrando que a mayor cantidad de fertilizante mayor peso y diámetro del tubérculo.

Para mayor aceptación comercial se recomienda utilizar la dosis de fertilización recomendada bajo resultados del análisis de suelo. Las variables que influyeron en el rendimiento fueron altura de la planta y grosor de los tallos con un porcentaje total de 36% de influencia.

5.2 Marco contextual.

El municipio de Chitagá está ubicado en la zona suroccidental de Norte de Santander, tiene una densidad demográfica de 8,69 habitantes/km². Según el Departamento Nacional de Planeación (DNP), Chitagá tiene una extensión de 1.172 Km² que equivalen al 5% de la superficie total del departamento. (Alcaldía Municipal de Chitagá, 2012)

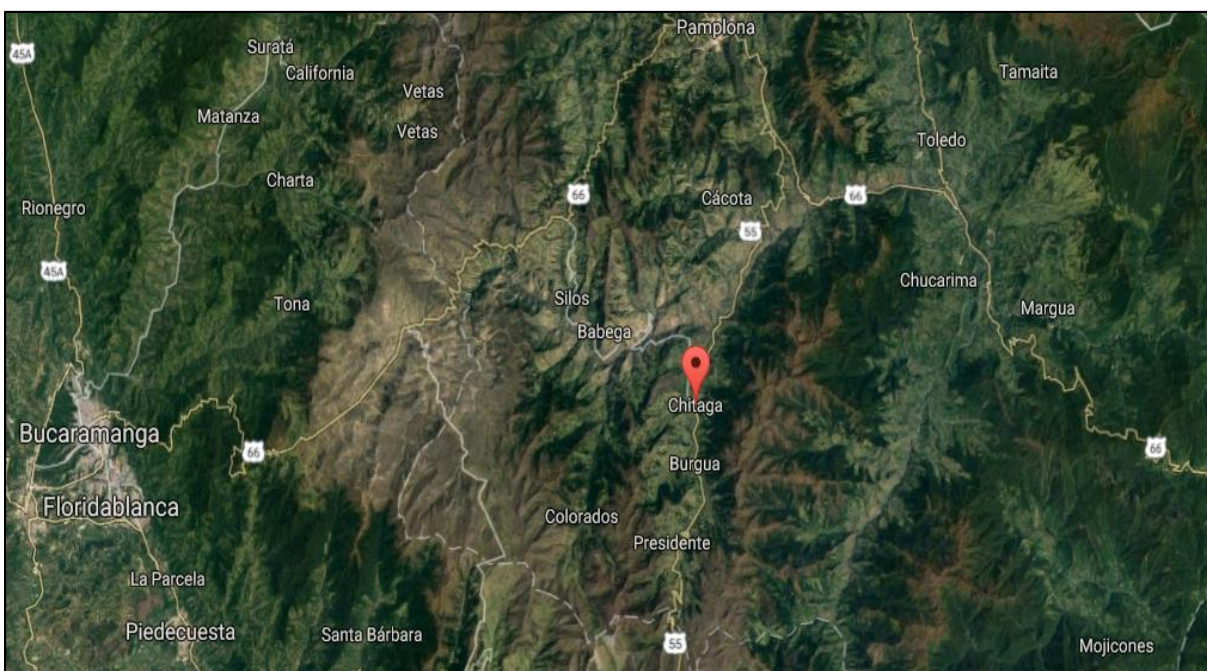


Figura 1. Ubicación del municipio de Chitagá Norte de Santander.

Nota: Recuperado de: (<https://goo.gl/Lno9Uc>) [consultado: Mayo 2017].

5.2.1 Límites geográficos.

Según el Esquema de Ordenamiento Territorial, el municipio de Chitagá limita al oriente con los municipios de Labateca, Toledo y Cubará (Boyacá), al occidente con el municipio de Silos, al norte con los municipios de Cúcota, Pamplona y Labateca y al sur con los municipios de Guaca, Cerrito y Concepción (Santander) (Esquema del Ordenamiento Territorial del area rural y urbana del municipio de Chitagá).

5.2.2 Ubicación geográfica del proyecto de investigación.

El proyecto se realizó en el municipio de Chitagá, vereda Carrillo, Hacienda Carrillo, de propiedad de los Hermanos Alberto Villamizar y Harold Villamizar productores de papa, durazno y cultivos de corto plazo.

5.2.3 Coordenadas, altura y temperatura promedio.

Coordenadas: 7°08'16" N 72°39'52" O.

Altura: 2.040 m s. n. m.

Temperatura: 14-16°C.

5.3 Marco teórico.

5.3.1 Generalidades del cultivo de papa.

La historia de la papa comienza hace unos 8.000 años, cerca del lago Titicaca, que está a 3800 metros sobre el nivel del mar, en la cordillera de los Andes, América del Sur, en la frontera de Bolivia y Perú. Ahí, según revela la investigación citada en (Potato, 2008), las comunidades de cazadores y recolectores que habían poblado el sur del continente por lo menos unos 7.000 años antes, comenzaron a domesticar las plantas silvestres de la papa que se daban en abundancia en los alrededores del lago.

En el continente Americano hay unas 200 especies de Papas silvestres, pero fue en los Andes centrales donde los agricultores lograron seleccionar y mejorar el primero de lo que habría de convertirse, en los milenios siguientes, en una asombrosa variedad de cultivos del tubérculo. Cinco de estas series se encuentran en Colombia, Tuberosa, Bulbocastana, Piurana, Juglandifolia y Conicibaccata. Dentro de la serie Tuberosa, que incluye 104 especies en el continente Americano, se reportan cuatro para Colombia: dos incluyen toda la diversidad de papas cultivadas (*Solanum phureja* y *S. tuberosum spp.* Andígena) y dos especies silvestres (*S. andreanum* y *S. estradae*) (López, 1993).

5.3.2 Generalidades de la variedad criolla.

El cultivo de papa criolla es uno de los sistemas productivos más importantes económica y socialmente en Colombia ya que presenta entre el 5 y 10% de la papa cultivada del país y su exportación asciende a mil toneladas al año (Ministerio de Agricultura, 2008). La producción en promedio es de 15 a 20 t/ha (García & Pantoja, 2012).

5.3.3 Clasificación taxonómica.

En cuanto a la clasificación se pueden encontrar varios sistemas de clasificación para D'Arcy (1991) la clasificación de la papa criolla es la siguiente:

Tabla 1.
Clasificación taxonómica de la papa criolla.

Taxón	Nombre
Reino	Vegetal
División	Angiospermae
Clase	Dicotiledoneae
Orden	Tubiflorae
Familia	Solanaceae
Subfamilia	Solanoideae
Tribu	Solaneae
Género	<i>Solanum</i>
Subgénero	Papa
Sección	Petota
Subsección	Papa
Serie	Tuberosa
Especie	<i>Solanum phureja</i>

Nota: Tomado de: Revisión bibliográfica de las Solanáceas desde 1976 (D'Arcy, 1991).

5.3.4 Condiciones de desarrollo para el cultivo de papa criolla.

La papa es considerado un vegetal de lugares fríos, los mejores rendimientos de este cultivo son obtenidos en climas con temperaturas promedio entre 15 y 20°C (Martínez & Acevedo, 2004). La papa criolla es también conocida como *Solanum phureja*, su adaptación es de 2.600 a 2.800 m s. n. m. (CEVIPAPA, 2004). Se relaciona con lo que dice (Becerra sanabria, Mosquera, & Nústes, 2007), la papa crece entre los 2.000 y 3.000 m s. n. m., siendo óptima la altura comprendida entre 2.300 y 2.800 m s. n. m., lo que equivale a un rango de temperatura

promedio de 10° a 20° centígrados, requiere además una precipitación promedio de 900 mm de lluvia al año, sin embargo, el cultivo se desarrolla bien con precipitaciones superiores.

El mejor suelo para el cultivo de la papa criolla es aquel que presenta una textura franca, suelta y profunda que evita la acumulación de humedad en la raíz, y un pH entre 5.2 y 5.9 además un alto contenido de materia orgánica. Su vida como producto fresco es de pocos días, por tanto se brota o germina con prontitud. Su periodo vegetativo requiere 4 a 5 meses (CEVIPAPA, 2004).

5.3.5 Morfología de la planta de papa criolla.

La papa es una planta herbácea, su hábito de crecimiento cambia entre las especies y dentro de cada especie puede ser arrosetado, rastrero o erecto, en las plantas cultivadas este último es el deseable, ya que facilita las labores del cultivo. La morfología de la papa puede ser modificada por factores ambientales por lo cual los hábitos de crecimiento y desarrollo de la planta varían con cada especie (Luján, 1990).

En forma tradicional, la densidad de un cultivo de papa se expresa como un número de plantas por unidad de área, pero una planta de papa comúnmente consiste de varios tallos. Cada tallo forma raíces, estolones y tubérculos y se comporta como si fuese una planta individual. En consecuencia, la densidad de un cultivo de papa consiste de dos componentes: el número de plantas y el número de tallos por planta (Wiserma, 1987).

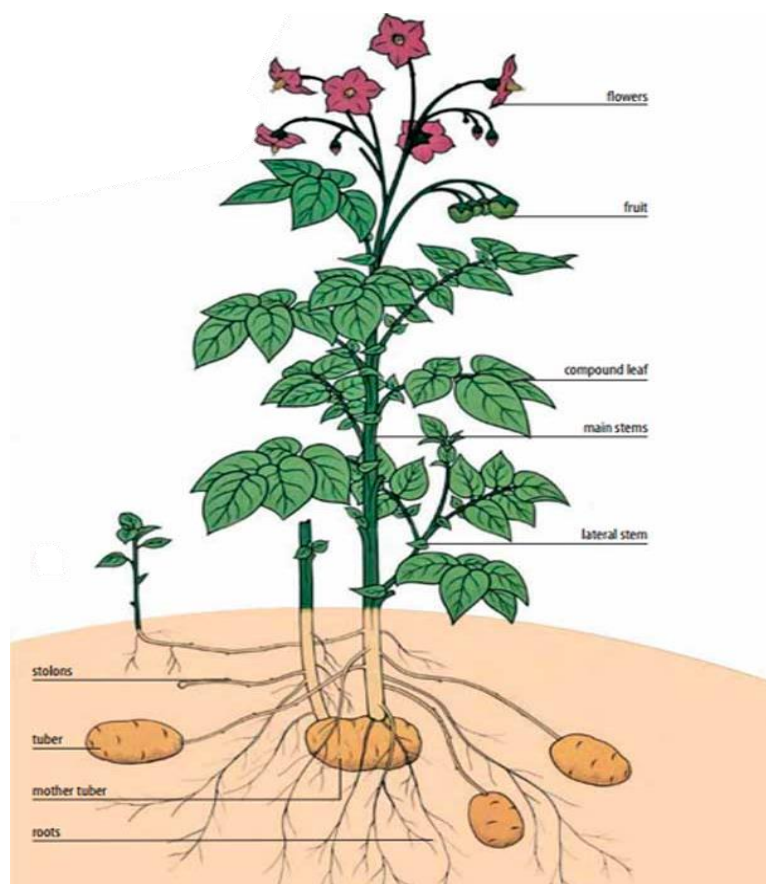


Figura 2. Planta de papa *Solanum sp.*

Nota: tomado de FAO (2013) [consultado: noviembre 2016].

5.3.5.1 Plantas y hojas: Tallos simples o ramificados, 30 – 60 (-80) cm de altura por 6 – 8 (-12) mm de diámetro en la base, vertical a semidecumbente o decumbente, no alado o ligeramente alado, usualmente pigmentado con púrpura. Hojas usualmente amplias y abreviadas, 15 – 23 (-30) cm de longitud por 8 – 10 (-14) cm de ancho, con 5 – 6 (-7) pares de folíolos y un número variable (18 - 30) de folíolos interpuestos de diferentes tamaños. Folíolos más o menos pilosos, algunos brillantes por encima, ligeramente ovados a elíptico-lanceolados o ligeramente elípticos, el ápice puntiagudo o subpuntiagudo y la base oblicuamente redondeada, sésiles o nacen en cortos peciolos u ocasionalmente algo decurrentes sobre el raquis. Folíolos terminales, 6.0 – 7.5 cm de longitud por 2.5 – 3.5 cm de ancho, ligeramente más largos que el primero y

segundo pares de foliolos laterales. Pedúnculos, 5 – 7 (-12) cm de longitud, 5 – 9 flores, angosto, 1.8 – 2.0 mm de diámetro en la base, más o menos piloso como en los pedicelos y el cáliz, cubierto con pelos cortos y tricomas triangulares (Piñeros Niño, 2009).

5.3.5.2 Flores: Pedicelos angostos, 15 – 20 (-25) mm de longitud, articulados cerca del centro o por encima del primer tercio superior del tallo. Cáliz, 7 - 8 mm de longitud, usualmente fuertemente pigmentado, asimétrico con 1 o 2 pares de lóbulos unidos, u ocasionalmente simétricos, los lóbulos puntiagudos, lanceolados y abruptamente angostos, hasta 1.5 – 2.0 mm de longitud de los acúmenes, estos reflejos en la yema. Corola rotada a rotado-pentagonal, usualmente plegados, 2.5 – 3.0 (-3.5) cm de diámetro, violeta-rojizo oscuro o violeta profundo, los lóbulos generalmente cortos y conspicuamente amplios y con acúmenes ampliamente triangulares y cortos, blancuzcos por debajo. Cono estaminal cilíndrico-cónico a subdoliiforme; anteras 4.5 – 5.5 mm de longitud y 1.8 mm de ancho, cordado en la base, nace sobre filamentos de 1.5 – 2.0 mm de longitud y 1 mm o menos de diámetro. Estilo angosto, 9 - 10 mm de longitud, exerto (estambres que sobresalen de la flor) por encima de 3.5 mm de su longitud, densamente cubierto con papilas muy cortas a lo largo del tercio basal de su longitud; estigma capitado, pequeño, menos de 1 mm de diámetro, ligeramente agrietado (Piñeros Niño, 2009).

5.3.5.3 Fruto: Fruto globoso, ovoide a oval-cónico, 1.5 – 2.5 cm de longitud, verde claro o verde con rayas verticales púrpura claro (Piñeros Niño, 2009).

5.3.5.4 Estolones y tubérculos: Tubérculos ampliamente oblongos u oval-elongados a subcilíndricos largos, ojos profundos, brotes azul-violeta oscuro, peridermo variegado con rojo-violeta y blanco-amarillento a amarillo, pulpa blanca o blanco-grisácea (Piñeros Niño, 2009).

5.3.6 Fisiología de la planta de papa

5.3.6.1 Crecimiento y desarrollo. El Crecimiento Se puede referir a un incremento irreversible de materia seca o volumen, cambios en tamaño, masa, forma y/o número, como una función del genotipo y el complejo ambiental (Krug, 1997) dando como resultado un aumento cuantitativo del tamaño y peso de la planta. Es un proceso complejo que incluye muchos procesos como división celular, elongación, fotosíntesis, síntesis de otros compuestos, respiración, translocación, absorción y transpiración (Buitrago, Cante, Huertas, & Gómez, 1999). El desarrollo está marcado por eventos que causan cambios cualitativos en forma y función de la planta y por ende en la formación del producto. El patrón general de desarrollo de las plantas monocotiledóneas y dicotiledóneas comienza con la siembra, seguida por la emergencia, crecimiento y desarrollo de las plantas, conformando los estados del ciclo de vida (Krug, 1997).

Los factores anteriormente mencionados están relacionados por factores genéticos y ambientales en los que se encuentra la temperatura, este tiene una relación con la actividad enzimática. La radiación es otro factor ambiental importante ya que este influye en la actividad fotosintética.

Los Análisis de Crecimiento son una aproximación cuantitativa para entender el crecimiento de una planta o de una población de plantas bajo condiciones ambientales naturales o controladas (Clavijo & Montealegre, 1991). El crecimiento puede ser cuantificado mediante el empleo de un conjunto de índices basados en modelos definidos mediante expresiones o funciones matemáticas (Hunt, 1978).

El análisis matemático de crecimiento usa medidas directas, tales como peso seco (W), área foliar total (AF), tiempo (T), medidas derivadas como la Tasa de crecimiento relativo (TCR), la tasa absoluta de crecimiento (TAC), la tasa de crecimiento del cultivo (TCC), tasa de

asimilación neta (TAN), que no pueden ser obtenidas directamente sino que son calculadas a partir de las medidas directas (Hunt, 1978).

Tabla 2.
Fórmulas y unidades para índices de crecimiento.

Índices de crecimiento	Símbolo	Valor instantáneo	Valor promedio en un intervalo de tiempo	Unidades
Tasa de crecimiento relativo	TCR	$\frac{1}{w} \frac{dw}{dt}$	$\frac{LNW2 - LNw1}{T1 - T2}$	g/(g día)
Tasa de asimilación neta	TAN	$\frac{1}{AF} \frac{dW}{dT}$	$\frac{W2 - W1}{T2 - T1} \times \frac{LNAF2 - LNAF1}{AF2 - AF1}$	g/(cm ² día)
Tasa absoluta de crecimiento	TAC	$\frac{dw}{dt}$	$\frac{W2 - W1}{T2 - T1}$	g/día
Tasa de crecimiento del cultivo	TCC	$\frac{1}{As} \frac{dw}{dT}$	$\frac{1}{As} \times \frac{W2 - w1}{T2 - T1}$	g/(cm ² día)

Nota: Tomado de Physiology of Crop Plants (Gardner, Pearce, & Mitchell, 2003) [diciembre 2016] Símbolos Utilizados: W: Peso Seco Total; T: Tiempo; AF: Área Foliar; As: Área de Suelo; LN: Logaritmo Natural.

5.3.7 Desarrollo de la planta de papa.

Ocurren las siguientes etapas:

5.3.7.1 Desarrollo de tubérculo semilla: Durante esta fase el tubérculo pasa por el periodo de reposo o dormancia, dominancia apical, brotación múltiple y senectud. El periodo de reposo o dormancia, consiste en un estado durante el cual los tubérculos no brotan, aún bajo condiciones ambientales que serían favorables para un rápido brotamiento.

5.3.7.2 Germinación - Emergencia: En esta fase el extremo basal de los brotes del tubérculo forman normalmente la parte subterránea de los tallos y se caracteriza por la presencia de lenticelas, después de la siembra esta parte produce rápidamente raíces y luego estolones o tallos laterales. El extremo apical del brote da origen a las hojas y representa la parte del tallo donde tiene lugar el crecimiento del mismo (Huamán, 1986).

5.3.7.3 Desarrollo de tallos aéreos y hojas: Paralelamente al crecimiento de los brotes en el estadio fenológico de desarrollo de partes vegetativas, ocurre la formación de hojas inicialmente desde primordios foliares hasta el desarrollo de hojas completas, el crecimiento foliar continua durante el ciclo biológico hasta que las plantas alcanzan la madurez fisiológica (Huamán, 1986).

5.3.7.4 Formación de Estolones: Los estolones se comienzan a diferenciar a partir del extremo basal de los brotes y las yemas ubicadas en los nudos del tallo que se encuentran por debajo de la superficie del suelo, en ausencia de luz (Santos, 2010).

5.3.7.5 Formación de Tubérculo: El inicio del proceso de tuberización es determinado por el ensanchamiento de la punta de los estolones. Existen tres fases en la formación de los tubérculos que pueden ser distinguidas, la fase inicial cuando el crecimiento de los tubérculos es limitado, una segunda fase cuando hay competencia por asimilados entre los tubérculos y otros órganos de la planta, y una tercera fase en donde los tubérculos son un fuerte vertedero y todos los asimilados son asignados a estos órganos, alcanzando su máximo de masa total (Kooman & Rabbinge, 1996) cuando llega a esta fase los tubérculos se desprenden fácilmente del estolón y la piel es firme, se dice que ha alcanzado su madurez fisiológica. La formación de los tubérculos depende de diferentes factores como el aporte de nitrógeno a la planta, los niveles de carbohidratos en relación al contenido de nitrógeno, el balance hormonal (giberelinas y ácido tuberónico), y factores ambientales como la temperatura y fotoperiodo (Pozo, 1997).

5.3.7.6 Floración y fructificación: El crecimiento de cada tallo principal termina en la formación de una inflorescencia. El eje central de la inflorescencia termina en una flor y es la primera en abrir, las flores proximales tienden a producir los frutos más grandes y con mayor número de semillas (Rodríguez Pérez , 2010).

5.3.7.7 Senescencia: El cultivo de papa ingresa a esta fase cuando alcanza la madurez fisiológica, los diferentes órganos que componen la planta de papa, adquieren una apariencia seca y posterior muerte de órganos y de la planta completa (Rodríguez, Corchuelo, & Núñez, 2001).

5.3.8 Grados calor día

El ciclo biológico de muchos organismos depende estrechamente de la temperatura; este hecho ha llevado al establecimiento del concepto grados días, que ha sido utilizado con éxito en la predicción del desarrollo de diferentes organismos (Univerisdad de California, 1998).

Un grado día ($^{\circ}\text{D}$) es una unidad que combina el tiempo y la temperatura para estimar el desarrollo de un organismo a partir de un punto a otro en su ciclo de vida. También conocidas como unidades de calor, grados días son el producto acumulado de tiempo y temperatura (Univerisdad de California, 1998).

Cada fase del desarrollo requiere un mínimo de acumulación de temperatura para llegar a su término y que la planta pueda pasar a la fase siguiente. En efecto, la planta "mide" la temperatura cada día y agrega el promedio de ese día a un total requerido para esa fase. Este total se llama tiempo térmico o suma de calor y las unidades térmicas son grados/días ($^{\circ}\text{D}$) (Rawson, 2001).

Para calcularla se utilizará la siguiente ecuación:

$$^{\circ}\text{D} = \frac{T_{\min} + T_{\max}}{2} - T_b$$

Donde T_{\min} y T_{\max} son las temperaturas mínima y máxima diarias del aire, respectivamente, y T_b es la temperatura base o umbral inferior para el inicio del desarrollo del cultivo.

5.3.9 Programas informáticos estadísticos

Según la Real Academia Española (RAE) menciona que un software es un conjunto de programas, instrucciones y reglas informáticas para ejecutar ciertas tareas en una computadora.

Los programas o software principalmente utilizados en estadísticas es el Excel, este permite a los usuarios organizar los datos numéricos o de texto en hojas o libros de cálculo, también realiza complejos análisis automáticamente, llegando a resumir los datos con distintas tablas dinámicas generando opciones al usuario para que las compare y seleccione la que mejor exponga sus resultados (EXCEL). Un programa más avanzado pero de fácil manejo es el programa STATISTIX 10.0 este es un potente programa de análisis estadístico que se puede utilizar para analizar rápidamente los datos, ofrece excelentes herramientas de manipulación de datos, importación, apoyo a la exportación de Excel archivos y mensajes de texto, modelos lineales (incluyendo regresión lineal, regresión logística, regresión de Poisson, y ANOVA), la regresión no lineal, las pruebas no paramétricas, series de tiempo, pruebas de asociación, análisis de supervivencia, la calidad control, análisis de potencia, entre otras funciones (STATISTIX).

5.4 Marco legal.

5.4.1 Resolución ICA 04000 del 30 de diciembre de 1997.

Por el cual se establecen los requisitos mínimos para emitir el concepto de evaluación agronómica de genotipos de papa criolla para comercializar en el territorio Colombia.

5.4.2 Acuerdo No.186 de la Universidad de Pamplona.

Por el cual compila y actualiza el Reglamento Académico Estudiantil de Pregrado.

5.4.2.1 Capítulo VI. Trabajo de grado: Artículo 35- Definición de Trabajo de Grado.

En el Plan de Estudios de los programas, se establece como requisito para la obtención del título profesional, la realización por parte del estudiante, de un trabajo especial que se denomina

“TRABAJO DE GRADO”, por medio del cual se consolida en el estudiante su formación integral, que le permite: a. Diagnosticar problemas y necesidades, utilizando los conocimientos adquiridos en la Universidad. b. Acopiar y analizar la información para plantear soluciones a problemas y necesidades específicas. c. Desarrollar planes y ejecutar proyectos, que le permitan demostrar su capacidad en la toma de decisiones. d. Formular y evaluar proyectos. e. Aplicar el Método Científico a todos los procesos de estudio y decisión. PARÁGRAFO PRIMERO.- El Trabajo de Grado, según sus características puede ser realizado en forma individual o en grupo.

Capítulo 3

6 Metodología

6.1 Diseño metodológico.

El tipo de investigación es cuantitativa de tipo descriptiva con un diseño metodológico de investigación cuasi-experimental. Ya que cumple con las etapas planteadas. Según (Tamayo, 2003) este tipo de investigación “se presenta mediante la manipulación de una variable experimental no comprobada, en condiciones rigurosamente no controladas con el fin de describir de qué modo o por qué causa se produce una situación o acontecimiento particular”.

6.2 Datos del material vegetal.

Los clones de papa con los que se realizó el ensayo, son clones nativos que no pertenecen a la región de Norte de Santander. En la tabla 3 se aprecia los datos de cada material, a cada uno se le proporcionó un nombre experimental para mayor entendimiento en la recolección de datos (Villamizar, 2015).

Tabla 3.
Registro y origen de colecta de los clones nativos de papa criolla.

Nombre experimental	Identificación del genotipo (Registro)	Origen
Clon 2	15062515	Corregimiento el Encano, de Pasto -Nariño.
Clon 5	15062586	Municipio de Güicán, Boyacá

Nota: Tomado de (Herreno, 2015) [consultado: diciembre 2016].

6.3 Diseño experimental.

Se empleó un diseño de bloques completos al azar con dos tratamientos, tres repeticiones y tres muestras por cada repetición. Los tratamientos utilizados son los clones 2 y 5 de papa criolla. Una muestra hace referencia a una planta completamente extraída, las parcelas o

unidades experimentales tendrán un área de 60 m² con las medidas de 10 m de largo y 6 m de ancho, (10 surcos de 6 metros de largo) la distancia entre surcos será de 1 m y la distancia entre plantas de 0,3 m, para una densidad de 200 sitios de siembra por parcela y un total de 600 semillas por clon. El área total utilizada en el experimento fue de 506 m².

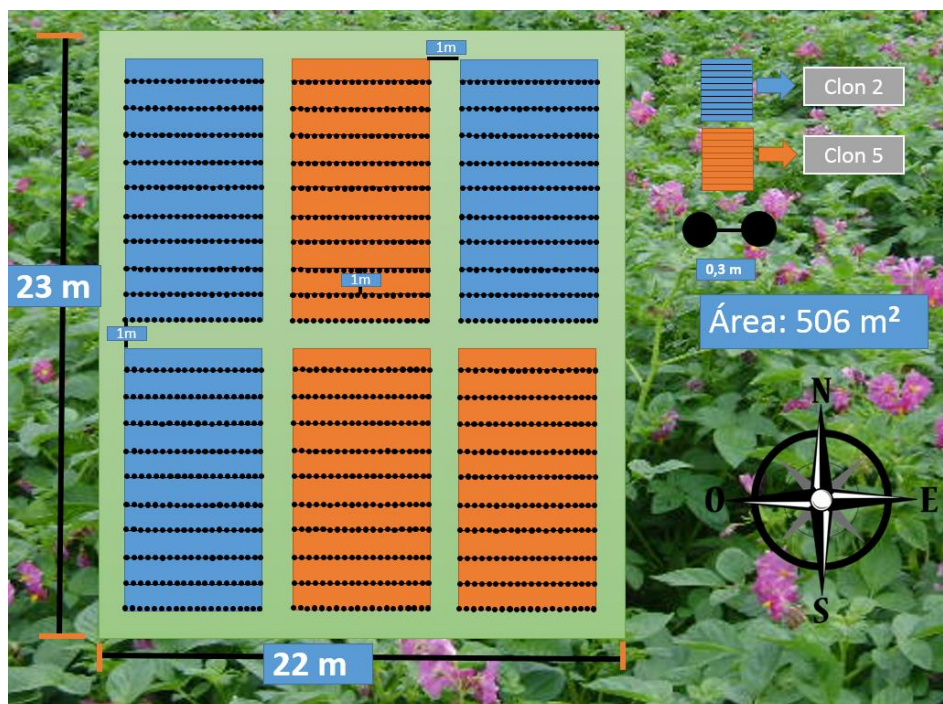


Figura 3. Croquis del modelo experimental. Fuente: Autor

6.4 Variables evaluadas

6.4.1 Grados calor día

Para hallar los grados calor día se tomaron las temperaturas mínimas y la máximas con la ayuda de un Data Logger referencia DT-171, se registraron las temperaturas cada hora y después se seleccionó la temperatura máxima y mínima de cada día, estos datos se tendrán en cuenta para calcular los grados calor día mediante la fórmula:

$$^{\circ}D = \frac{T_{min} + T_{max}}{2} - T_b.$$

Donde $^{\circ}D$ hace referencia a los grados día, la T_{\min} es la temperatura mínima del día, la T_{\max} hace referencia a la temperatura máxima y por último la T_b es la temperatura base. Se estableció como temperatura base $10^{\circ}C$ siendo esta la temperatura base para el cultivo de papa (Guillen López & Gómez García, 2016).

6.4.2 Tipo de muestra destructiva

Se extrajeron tres muestras seleccionadas al azar por cada parcela, para un total de nueve plantas por clon, las primeras muestras del ciclo del cultivo se tomaron 7 días después de la germinación, las siguientes muestras se realizaron con un intervalo de tiempo de 7 días hasta completar el ciclo del cultivo. A las muestras recolectadas se les determinaron las siguientes variables:

6.4.2.1 Área foliar [AF]. Se seleccionaron tres plantas por cada tratamiento o parcela, cada planta desde su tallo principal, las hojas se clasificaron en tres grupos o categorías: hojas expandidas (adultas), del tercio medio y juveniles. Se realizó una fotografía a una altura de 50 cm perpendicular al plano de los tres tipos de hojas empleando un fondo blanco con una medida referente. Las fotografías se manipularon en el programa ImageJ para calcular el área foliar. El resultado se multiplicó por el número de hojas representativas en comparación con el tamaño de la muestra y el área total fue la sumatoria de cada categoría de hojas.

6.4.2.2 Masa seca [WS]. A las muestras se le separaron los órganos tales como hojas, tallos, estolones, tubérculos, flores, y frutos; forradas en papel periódico se llevaron al horno a una temperatura de $70^{\circ}C$, por 72 horas. Seguido de esto se registró el peso de cada órgano en una balanza analítica, y la sumatoria del peso de los órganos fue el peso seco total de la planta.

A partir de estos dos datos se determinaron los siguientes índices de crecimiento: tasa de crecimiento relativo (TCR), tasa de asimilación neta (TAN), tasa absoluta de crecimiento (TAC), tasa de crecimiento del cultivo (TCC).

6.4.3 Tipo de muestra no destructiva

En cada parcela se marcaron al azar 3 plantas en donde se registró por todo el ciclo del cultivo con un intervalo para la toma de los datos de 7 días, donde se recopilaban los siguientes datos:

6.4.3.1 Desarrollo fenológico. Esta variable se definió por medio de las observaciones de las etapas fenológicas, que están marcadas por el desarrollo morfológico de algunos órganos, en cada clon se determinaron las etapas con base a la adaptación de la escala descriptiva de estados fenológicos de desarrollo de *Solanum tuberosum* L. según la escala Biologische Bundesanstalt, Bundessortenamt y Chemical industry (BBCH) (Hack, et al, 1993).

Tabla 4.
Escala descriptiva de los estados fenológicos de desarrollo de la papa *Solanum tuberosum* L.

Código	Estado	Descripción
0 0.0 – 0.9	Brotación – Germinación	Los tubérculos que se encuentran en estado de latencia terminan el proceso de dormancia, las yemas se desarrollan dando lugar a los nuevos brotes, estos rompen la superficie del suelo y emergen, cuando esto ocurre en el 50 % de las plantas se determina emergencia
1 1.0 – 1.n	Desarrollo de Hojas	Las hojas aparecen a lo largo del desarrollo del tallo y las ramas. Las hojas comienzan a extenderse hasta alcanzar una longitud mayor a 4 cm.
2 2.1 – 2.9	Formación de Brotes Laterales	Formación de brotes basales laterales visibles.
3 3.1 – 3.9	Elongación Brotes Principales	Proceso de cobertura del cultivo debido a la elongación del tallo y las ramas, del 10 al 90 % de las plantas se encuentran entre líneas.
4 4.0 – 4.9	Formación de Tubérculo	Comprende desde el ensanchamiento del estolón hasta alcanzar el máximo de masa total del tubérculo, en el cual se desprenden fácilmente de los estolones y la piel ya no es removible con facilidad.
5 5.1 – 5.9	Aparición de Órgano Floral	Desde la aparición de los primeros botones de la primera inflorescencia en el tallo principal, hasta la aparición de los primeros pétalos en dicha inflorescencia.
6 6.0 – 6.9	Floración	Primeras flores abiertas hasta el final de la floración.
7 7.0 – 7.9	Desarrollo del Fruto	Se inicia con la aparición de las primeras bayas y finaliza cuando estas han alcanzado su máximo tamaño.
8 8.1 – 8.9	Maduración de Frutos y Semillas	Los frutos comienzan a cambiar de color desde verde a ocre o café oscuro, las semillas pasan de un color pálido a uno oscuro.
9 9.1 – 9.9	Senescencia	Inicia con el amarillamiento de las hojas hasta que se tornan cafés y finalmente mueren, los tallos pierden su color verde y se secan. Por último el producto es cosechado.

Nota: Tomado de etapas de desarrollo fenológico de la patata (*Solanum tuberosum* L.). Hack et al., (1993) [consultado: diciembre 2016].

6.4.3.2 Altura de los tallos. Se midió desde la base de los tallos hasta el brote apical más alto, donde se tiene en cuenta la altura del tallo central. Esta variable es de tipo cuantitativo tomada con cinta métrica.

6.4.3.3 Número de tallos. Se pueden expresar como el número de tallos principales (o tallos sobre el suelo). Los tallos principales son los que crecen directamente del tubérculo madre. Y los tallos secundarios son los que crecen cercanos al tubérculo madre, estos pueden llegar a ser tan productivos como los tallos principales (Hidalgo, 1999).

6.4.4 Variables agronómicas y rendimiento.

Al momento de la cosecha se recolectaron 10 plantas por repetición para un total de 30 plantas por tratamiento (clon), se les midió la altura (cm), el diámetro del tallo (mm), número de tallos, número de tubérculos clasificándolos según el tamaño en las categorías cero (diámetro >6 cm), primera (diámetro entre 4 y 6 cm), segunda (diámetro entre 2 y 4 cm) y riche (diámetro <2), y el peso de tubérculo según la categoría.

6.5 Manejo agronómico.

El manejo agronómico se realizó teniendo en cuenta las prácticas locales de producción utilizada por los agricultores de la zona, al momento de la germinación se aplicó Amidor, es un insecticida sistémico de ingrediente activo Metamidofos (O,S-dimetil fosforamidotioato), en una dosis de 22 cc por bomba de espalda (20 L) para controlar la Pulgilla (*Epitrix cucumeris*). Para disminuir los daños de Gota (*Phytophthora infestans*) se empleó el producto conocido como Fórum con el ingrediente activo Dimetomorf, en una dosis de 10 g por bomba También se aplicó Manzate, el ingrediente activo de este producto es Mancozeb, en una dosis de 100 g por bomba de espalda. La primera fertilización fue al momento de la siembra, se utilizó el fertilizante comercialmente conocido como Rafos en la dosis que culturalmente se maneja, una manotada para 3 plantas, la segunda fertilización fue ejecutada a los 60 DDG al momento de la aporcada, para esta se utilizó el fertilizante Abotec en la dosis de una manotada de fertilizante para 2 plantas.

6.6 Análisis estadísticos de los datos

6.6.1 análisis estadísticos para la evaluación del crecimiento y desarrollo. Se aplicó un diseño de experimentos unifactorial, con la técnica análisis de varianza (ANOVA), la cual hace referencia a una serie de técnicas estadísticas de investigación que permiten establecer diferencias o relaciones entre una variable dependiente y una o unas independientes de un problema, con métodos científicos se buscan comprobar o rechazar una hipótesis para verificar los efectos y/o variaciones de la variable independiente. Es decir, la técnica estadística ANOVA, permite estudiar simultáneamente los efectos de una o más fuentes de variación. En los casos donde se rechazó la hipótesis nula se realizaron comparaciones múltiples de media (Prueba de Tukey) para establecer dónde específicamente se presentaban tales diferencias. El factor aquí implicado lo constituyen los clones 2 y 5. Para llevar a cabo este procedimiento se asumió un error aleatorio que sigue una distribución normal con media cero y varianza constante para las diferentes pruebas estadísticas, se fijó un nivel de significancia del 5%. El software para el procesamiento utilizado fue STATISTIX 10.0. El modelo del diseño estadístico para los índices de crecimiento fue el siguiente:

$$Y_{ij} = \mu + \tau_i + \varepsilon_{ij}$$

Como ejemplo se hizo la descripción de modelo para la Tasa de Crecimiento Relativo (TCR), y de igual forma se estipuló para las demás variables TAN, TAC, TCC.

Y_{ij} : Representa la tasa relativa de crecimiento obtenida en el i-ésimo clon.

μ : Representa la tasa de crecimiento relativo promedio global.

τ_i : Representa la variación de la tasa de crecimiento relativo, bajo el i-ésimo clon.

ε_{ij} : Error aleatorio.

El contraste de hipótesis a verificar es el siguiente:

$$\begin{cases} H_0: \mu_{TRC2} = \mu_{TRC5} \\ H_1: \mu_{TRC2} \neq \mu_{TRC5} \end{cases}$$

En términos teóricos significa:

La H_0 representa la hipótesis nula, plantea que el promedio de la tasa relativa de crecimiento obtenido del clon 2 es igual al promedio de la tasa relativa del clon 5. La H_1 representa la hipótesis alternativa y plantea si el promedio de la tasa relativa de crecimiento obtenido del clon 2 es diferente al promedio de la tasa relativa del clon 5.

6.6.2 Modelo de Regresión Lineal Múltiple

Con el fin de determinar la influencia de las variables agronómicas en el rendimiento de los clones de papa, se realizó un modelo de regresión lineal múltiple donde la variable dependiente es el rendimiento de los clones de papa y las variables independientes son la altura de la planta, número de tubérculos, número de tallos y diámetro de tallos. También se hizo una matriz de correlaciones (Pearson), para observar la relación entre la variable dependiente y las variables independientes. Teniendo en cuenta los coeficientes de Mallous (cp) y el de determinación el R^2 ajustado, se seleccionó el modelo con las variables que más influyen en el rendimiento de los clones de papa.

Capítulo 4

7 Resultados y discusión

7.1 Crecimiento y desarrollo de los materiales.

7.1.1 Índices de crecimiento.

Los siguientes índices de crecimiento empleados permiten analizar el crecimiento de la planta a través de la acumulación de la materia seca, que está influenciada por el tamaño del área foliar, de la tasa a la cual funcionan las hojas y el tiempo que el follaje se mantiene fotosintéticamente activo (Tekaling & Hammes , 2005)

7.1.1.1 Tasa de crecimiento relativo (TRC). Es el índice de eficiencia del incremento en masa seca, respecto a la masa inicial durante un intervalo de tiempo. Representando de esta manera la eficiencia de la planta como productora de nuevo material. (Degiovanni, Martínez, & Motta, 2010). El clon 2 presentó los valores máximos hasta los 28 días después de la germinación (DDG) en rangos de 0,073 a 0,089 g g⁻¹ día⁻¹ después disminuyó hasta llegar al valor de -0,032 g g⁻¹ día⁻¹ a los 98 DDG. El clon 5 presentó los valores máximos hasta los 35 DDG con rangos desde 0,073 a 0.085 g g⁻¹ día⁻¹ posteriormente disminuyó hasta llegar a -0,009 g g⁻¹ día⁻¹ a los 98 DDG como se muestra en la figura 4. Después de los 35 días de la germinación del cultivo la TCR decreció continuamente hasta llegar a un valor negativo debido a que el desarrollo de hojas había culminado y de esta forma los órganos fuentes (generadores de fotosíntesis) empezaron a disminuir, al igual que la eficiencia de la planta para incrementar la materia seca.

En la figura 4 se muestra el comportamiento de la tasa de crecimiento relativo, los picos son la carga y descarga del floema y el valor de la TRC disminuye hasta el final del cultivo debido a la edad de la planta y a la actividad fotosintética.

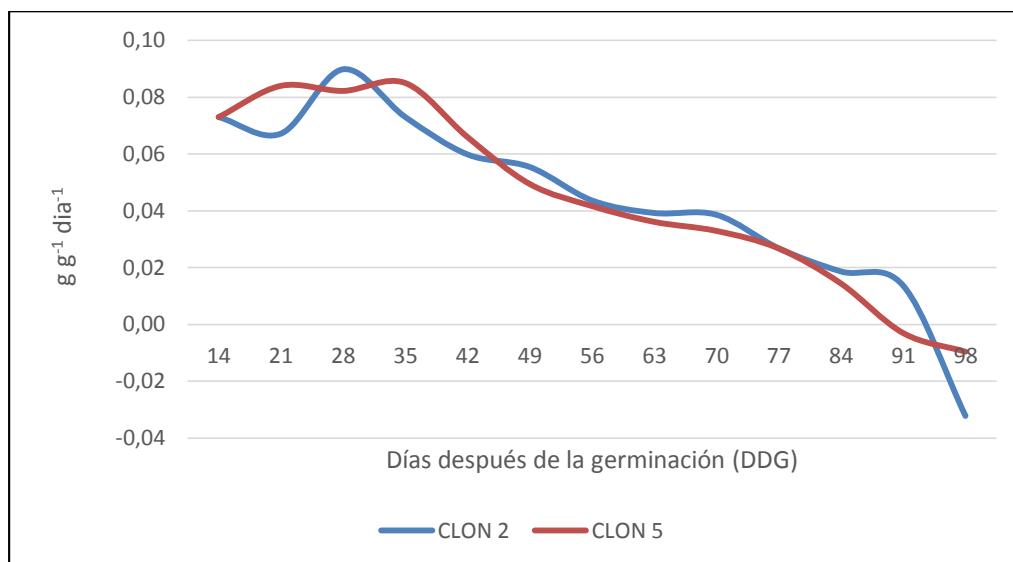


Figura 4. Tasa de Crecimiento Relativo (TCR) en los clones 2 y 5.

El comportamiento de la TCR al principio del ciclo del cultivo es creciente hasta los 35 días después de la germinación, luego de este tiempo empieza a decaer, en este periodo la planta se encuentra en la fase de formación y llenado de los tubérculos, es por esta razón que la TCR decrece desde esta fase del cultivo. Autores como Castro, et al. (2005), Degiovanni, et al (2010) y Gonzáles et al (1986), mencionan que los valores de la TCR empiezan a disminuir con la edad de la planta, gran parte de esta disminución se ve influenciada por el aumento de los tejidos no asimilatorios como los tubérculos, ya que estos empiezan atraer o a demandar los fotoasimilados desarrollados en los tejidos fuente (hojas y tallos). Es decir, la TRC representa la actividad de la demanda, la carga y descarga del floema. La TCR llega a un valor negativo debido a que los tejidos fuente al final del ciclo del cultivo, en la etapa de senescencia, van perdiendo la turgencia y los fotoasimilados se van transfiriendo a la parte cosechable (tubérculos). Por ejemplo en las plantas de tomate (*Lycopersicon sculentum* Miller) pertenecientes a la misma familia del cultivo evaluado en este trabajo demostraron un comportamiento de la TCR similar al de la evaluación del crecimiento vegetativo del tomate en Fusagasugá bajo tres niveles de radiación, realizado

por Quevedo, Ibarra, & Córdoba, (2003). Wilson en 1981 mediante un estudio del análisis de crecimiento de las plantas demostró que la potencia de la demanda (TAC) está influenciada por la actividad de la demanda (TRC) y el tamaño de la demanda (materia seca de tubérculos).

7.1.1.2 Tasa de asimilación neta (TAN). Es un indicador del incremento del material vegetal por unidad del tejido asimilatorio, por unidad de tiempo, está relacionada con el área foliar más que con el peso de la planta, debido a que el área foliar es el parámetro productivo de la planta, por lo tanto ésta expresa el aumento de la materia seca en función del área foliar e indica la actividad de la fuente (área foliar) (Degiovanni, Martínez, & Motta, 2010).

En la figura 5 se muestran los diferentes comportamientos de los clones en la TAN, el clon 2 expresa una tendencia lineal donde se demuestra una mínima variación en los valores hasta los 70 días después de la germinación (DDG), los rangos en este periodo van desde 0,415 a 0,531 $\text{mg cm}^{-2} \text{ día}^{-1}$ con una diferencia entre el primer dato y máximo valor de 0,098 $\text{mg cm}^{-2} \text{ día}^{-1}$ siendo el valor máximo a los 70 DDG. El comportamiento del clon 5 fue diferente, este obtuvo su valor máximo a los 35 DDG con un valor de 0,686 $\text{mg cm}^{-2} \text{ día}^{-1}$ el rango desde el primer dato al valor máximo va desde 0,394 a 0,686 $\text{mg cm}^{-2} \text{ día}^{-1}$ el cual fue a los 35 DDG, momento desde el cual empezó a disminuir hasta alcanzar un valor de -0,351 $\text{mg cm}^{-2} \text{ día}^{-1}$.

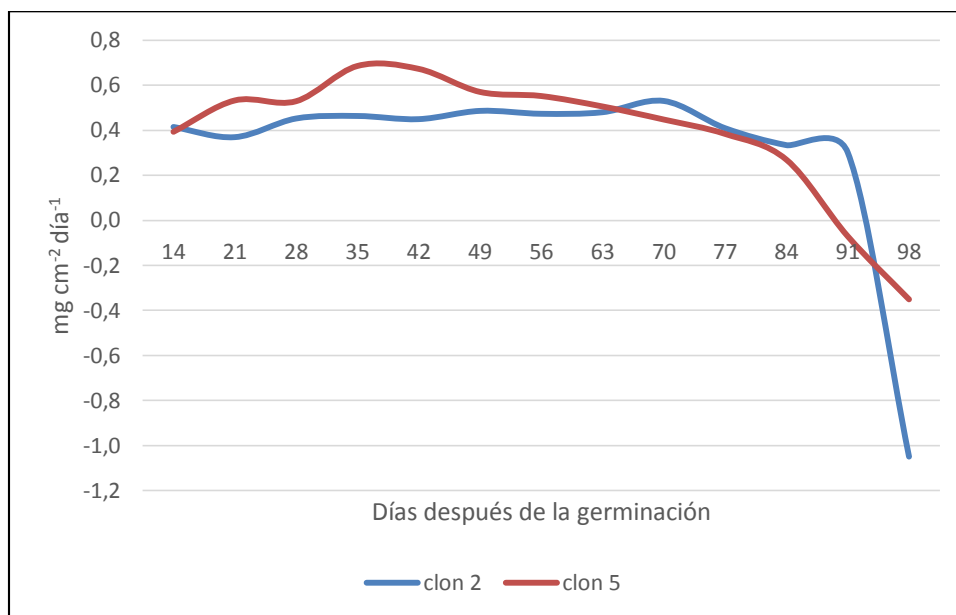


Figura 5. Tasa de Asimilación Neta (TAN) en los clones 2 y 5.

El comportamiento de la TAN en el clon 5 refleja una mejor fase de crecimiento hasta los 42 DDG y posteriormente presenta un decrecimiento, a diferencia del clon 2 que muestra un comportamiento lineal hasta los 70 DDG. A partir del trabajo realizado por Warren en 1981 surgieron los conceptos de potencia de la fuente y la potencia de la demanda, donde relaciona la actividad de la fuente (TAN) con la potencia de la fuente. Los valores de la TAN tienden a disminuir en la planta cuando ocurre la competencia intraespecífica, debido a que ocurre el autosombreamiento, también afecta la fase del proceso de cobertura del cultivo, este se presenta cuando el follaje de las plantas se encuentran entre hileras, a los 53 DDG como se especifica más adelante en el estado de elongación de brotes principales (estado 3 en la escala BBCH), el incremento de la materia seca en los tubérculos influye en la disminución de los valores de la TAN, en la figura 11 se puede observar que la materia seca de los tubérculos supera la materia seca de los tallos y las hojas (tejidos fuente) a los 63 DDG, en el comportamiento de la figura 5 se puede apreciar que 7 días después de lo anteriormente mencionado la TAN demuestra una

tendencia a disminuir al final del ciclo del cultivo debido a que hay una alta demanda por parte de los tubérculos, como se mostró en el estudio realizado por Santos et al (2010).

7.1.1.3 Tasa absoluta de crecimiento (TAC). Es un índice fisiológico de crecimiento sencillo, el cual mide la ganancia de materia seca durante un periodo de tiempo. Este índice nos permite identificar las etapas críticas del aumento de la materia seca en un cultivo, permite identificar la etapa máxima de la acumulación de materia seca total, relacionada con los órganos de interés comercial, por ejemplo en el cultivo de papa los que obtienen los valores máximos de materia seca a parte del tubérculo (órgano de interés comercial) son las hojas y los tallos, (órganos fuente).

El comportamiento de la TAC (Figura 6) fue similar en los dos clones, los dos obtuvieron el valor máximo a los 70 DDG, el clon 2 con un valor de 4,429 g día⁻¹ y el clon 5 con un valor de 4,143 g día⁻¹ el valor mínimo en los dos clones fue a los 91 DDG para el clon 2 fue de -5,714 g día⁻¹ y para el clon 5 de -1,714 g día⁻¹.

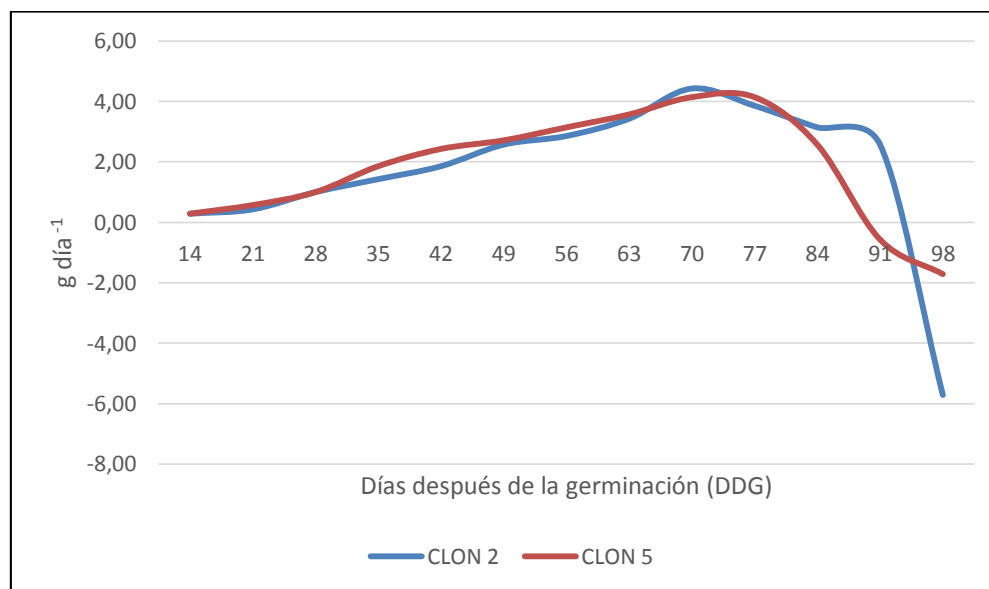


Figura 6. Tasa Absoluta de Crecimiento (TAC) en los clones 2 y 5.

La tasa absoluta de crecimiento representa la eficiencia de la planta como productora de nuevo material. Autores como Rodríguez & Leihner (2006) mencionan que la TAC es un índice que demuestra un crecimiento sencillo que relaciona el peso y el tiempo, un ejemplo de esto es que si a dos plantas (A y B) estudiadas en las mismas condiciones, en un periodo de 7 días, el peso de la planta A paso de pesar 10 gramos a 11 gramos y la planta B paso de 1 gramo a 2 gramos, realizando la fórmula de la TAC nos arrojaría un resultado similar en este periodo debido a que los dos aumentaron 1 gramo, sin embargo al detallar los comportamientos de crecimiento se puede determinar que la planta B tiene una mayor capacidad de crecimiento en este periodo, ya que la planta A solo aumentó su peso en un 10 por ciento a diferencia de la planta B que duplico su peso durante el mismo periodo de tiempo.

Según Corchuelo (1986) la TAC es el índice de la producción de la materia seca, y está influenciada por los tejidos de la fuente (hojas y tallos) debido a que representan la potencia, el comportamiento de la TAC en este trabajo es similar a lo planteado por Borner (1959) donde menciona que los valores de este índice de crecimiento no son constantes en el tiempo, debido a la variación en el peso de los tejidos fuente a lo largo del ciclo del cultivo.

La TAC llega a un periodo en donde su crecimiento es lineal, esto es debido a que los tejidos fuente se encuentran en la etapa de cobertura del cultivo, ocurre cuando las copas se encuentran entre hileras. En la figura 11 se puede apreciar el comportamiento de la materia seca de las hojas, tallos y tubérculos que concuerda con la fase lineal de la TAC, cuando el valor de la TAC decrece, la materia de las hojas también decrece, esto ocurre a los 77 DDG en el clon 2 y en el clon 5 a los 84 DDG. Este comportamiento concuerda con lo planteado por los autores anteriormente mencionados.

7.1.1.4 Tasa de crecimiento del cultivo (TCC). Es un índice de la eficiencia con que un cultivo produce materia seca en el campo, relaciona la ganancia de masa seca de una planta con el área del suelo ocupada y con el tiempo. Es decir, es el valor de masa seca producida por área y tiempo.

De acuerdo con los resultados (Figura 7), el valor máximo de la TCC en el clon 2 fue de $11 \text{ mg cm}^{-2} \text{ día}^{-1}$ a los 14 DDG y en el clon 5 fue de $12,8 \text{ mg cm}^{-2} \text{ día}^{-1}$ a los 35 DDG.

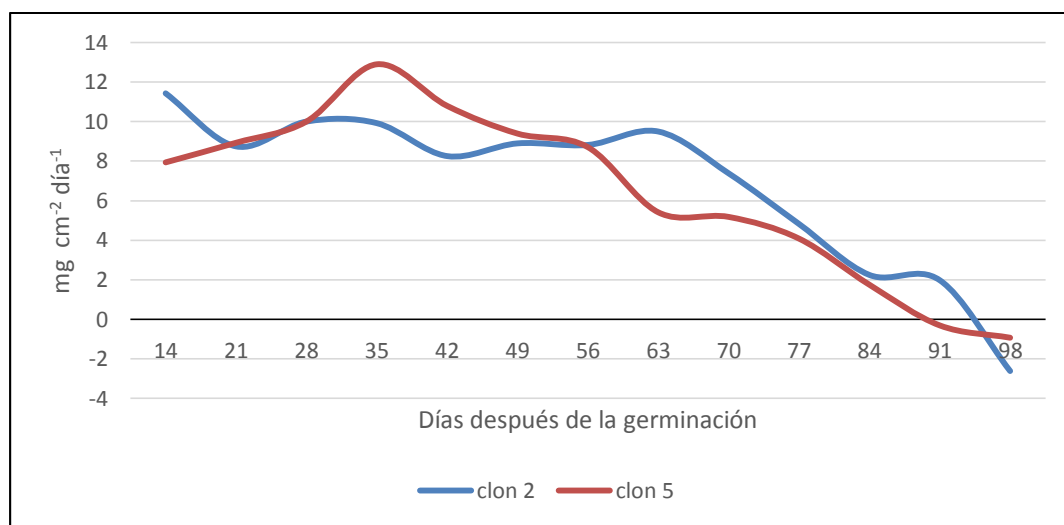


Figura 7. Tasa de Crecimiento del Cultivo (TCC) en los clones 2 y 5.

La TCC se expresa inicialmente por la TAN estando relacionada con el índice de área foliar, y finalmente por la TCC cuando tiende a disminuir, los autores (Degiovanni, Martínez, & Motta, 2010) mencionan que “aunque se incremente el índice de área foliar (IAF) la eficiencia fotosintética disminuye porque aumenta la sombra que cae sobre el follaje inferior (sombreamiento) y porque al mismo tiempo la respiración incrementa.” También hacen referencia a que la TCC máxima representa el IAF óptimo, estos valores se encuentran al principio del cultivo en fase de crecimiento foliar, se puede apreciar que después de los 56 DDG la TCC tiende a disminuir notoriamente en el clon 5, y en el clon 2 una semana después, es decir,

a los 63 DDG, para este tiempo las plantas se encuentran en la fase de cobertura del cultivo y competencia intraespecífica, mostrando un comportamiento similar a lo planteado por Degiovanni et al (2010).

7.1.1.5 Resultados estadísticos para los índices de crecimiento. A continuación en la tabla 5 se presenta la recopilación de resultados de ANOVA y la prueba de comparación múltiple de Tukey para los índices de crecimiento.

Tabla 5.

Resultados de las pruebas en los índices de crecimiento de los clones de papa.

Variable	Clon	Promedio	P-Valor	Grupos de homogeneidad	Interpretación
TCR	2	0,0436	0,7597	a	La TCR de los clones no demostró una diferencia significativa
	5	0,0445		a	
TAN	2	0,3169	0,2724	a	La TAN no demostró una diferencia significativa en los clones
	5	0,3943		a	
TAC	2	1,7033	0,7165	a	La TAC no demostró una diferencia significativa en los clones
	5	1,8571		a	
TCC	2	6,8748	0,4889	a	La TCC no demostró una diferencia significativa en los clones
	5	6,4462		a	

Nota: Los resultados de la ANOVA y la prueba de Tukey fue diseñada en el programa STATISTIX.

Fuente: Autor.

Se puede apreciar que los resultados de cada índice de crecimiento en los clones no tienen diferencias significativas, por esta razón pertenecen al mismo grupo de homogeneidad.

7.1.2 Acumulación de materia seca total y por órgano.

7.1.2.1 Hojas. El clon 5 presentó la mayor acumulación de materia seca a los 77 DDG, con un peso de 37 gramos, el clon 2 obtuvo la mayor acumulación a los 84 DDG con un peso de 33 gramos (Figura 8). Los resultados obtenidos fueron similares a los de la investigación realizada por (Santos, 2010) en donde el mayor peso de las hojas fue a los 77 días después de la germinación.

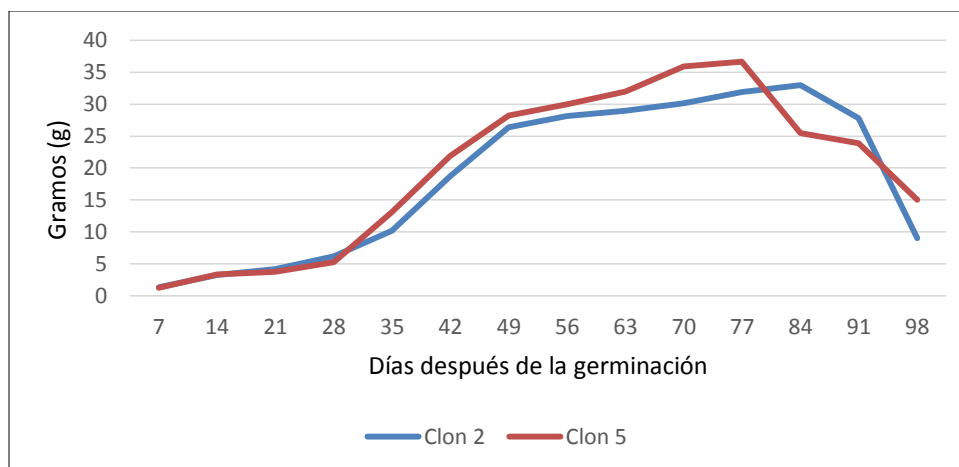


Figura 8. Acumulación de materia seca en hojas de los clones.

7.1.2.2 Tallos. El comportamiento de la acumulación de materia seca en los tallos (Figura 9) finalizó la fase exponencial a los 63 DDG con un valor de 24 gramos en los dos clones, el valor máximo de los dos clones fue a los 91 DDG con un peso de 27 gramos, el clon 2 presentó un decrecimiento del peso de los tallos a diferencia de los tallos del clon 5 en el que su peso se mantuvo. Los pesos fueron similares a los resultados obtenidos por Santos (2010) en donde la fase lineal en los materiales de papa Colombia y Latina empieza desde los 60 DDG hasta el momento de la cosecha.

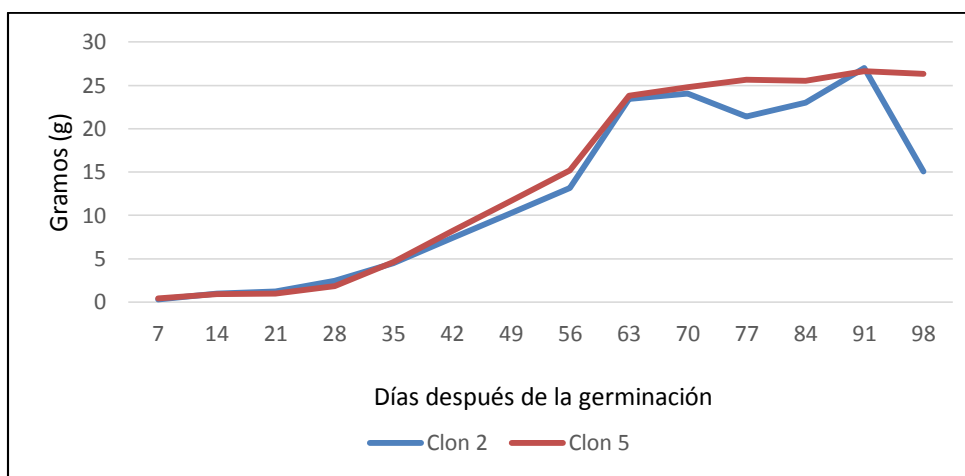


Figura 9. Acumulación de materia seca en tallos de los dos clones.

7.1.2.3 Tubérculos. Los dos clones presentaron resultados similares, la fase exponencial se presenta a los 56 DDG hasta llegar a la mayor acumulación de materia seca en los tubérculos a los 91 DDG, con un peso de 117 gramos para el clon 2 y para el clon 5 de 119 gramos (figura 10). El comportamiento de los pesos fue semejante a los resultados obtenidos por Santos (2010) en donde la fase exponencial se presenta a los 50 DDG hasta el momento de la cosecha. En el resultado de Santos (2010) no se evidenció decaimiento de los valores, debido a que la cosecha fue realizada a mediados de la fase de senescencia (código 9.5) a diferencia de este estudio llevado hasta la fase final de la senescencia (código 9.9), donde se muestra pérdida de peso de los tubérculos y coloración parduzca lo que puede generar un aspecto visual no atractivo para la comercialización.

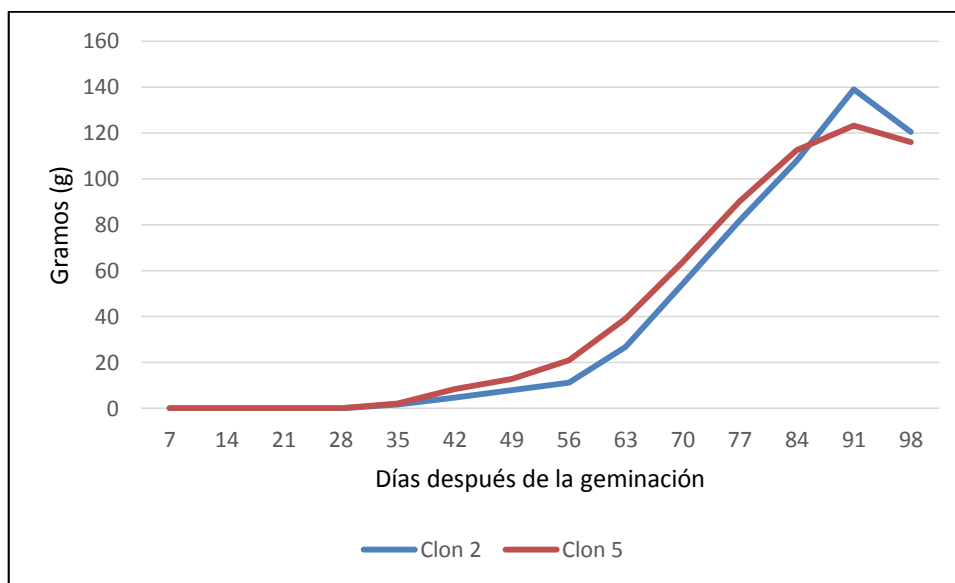


Figura 10. Acumulación de materia seca en los tubérculos de los clones.

7.1.2.4 Comparación de pesos de hojas, tallos y tubérculos. Se puede apreciar en la figura 11 el comportamiento del peso de los tubérculos, a los 63 días después de la germinación con una acumulación de 706 grados calor días estos alcanzaron un mayor peso que el de las hojas y los tallos, llegando a ser el órgano que acumula mayor materia seca, estos resultados

concuerdan con los de Santos (2010) donde a partir de los 50-60 DDG el peso de la materia seca supera al de los otros órganos llegando hasta su peso máximo que esta entre 100- 185 gramos dependiendo de la localidad y el material, los clones 2 y 5 presentaron un comportamiento similar al del material de criolla Colombia en la localidad baja.

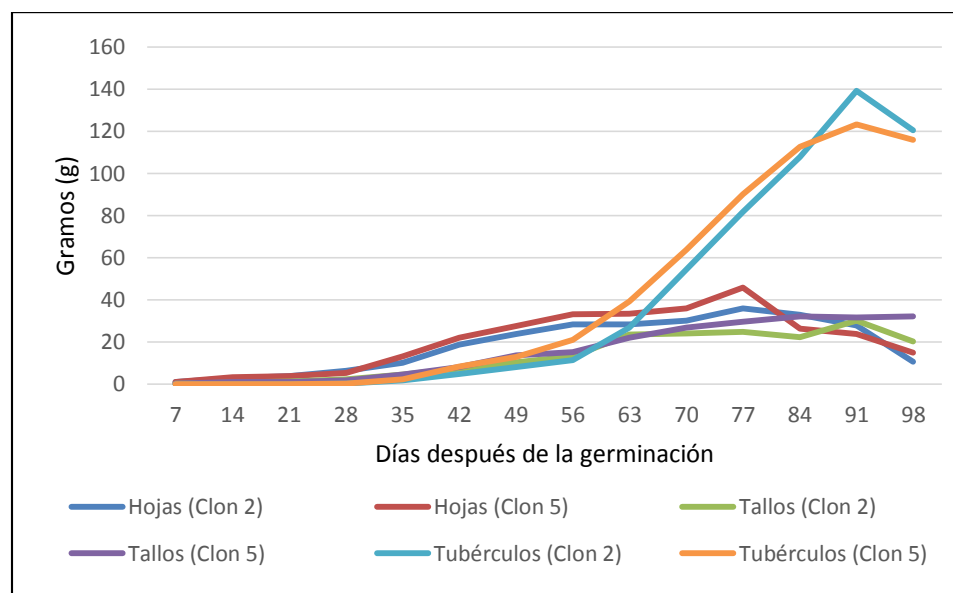


Figura 11. Acumulación de la materia seca de los clones por órgano.

7.1.2.5 Materia seca total de la planta. El peso de la materia seca de la planta fue similar para los dos clones, se puede apreciar en la figura 12 la fase exponencial que empieza a los 56 DDG, este incremento en el peso seco de la planta se puede relacionar con el aumento del peso en los tubérculos, como se demostró anteriormente en la figura 11 donde a partir de esta fecha los tubérculos incrementaron la materia seca de manera exponencial hasta los 91 DDG, la mayor diferencia en los pesos se puede apreciar a los 91 DDG. Las plantas del clon 2 presentaron una acumulación de 111 gramos, este valor es mayor comparado con las del clon 5 presentando 83 gramos de acumulación. Una diferencia de 28 gramos de materia seca total de la planta como se evidencia en la figura 12, estos resultados tienen una similitud con los resultados de Santos (2010) en la fase de crecimiento que empieza a los 30 DDG hasta el momento de la cosecha.

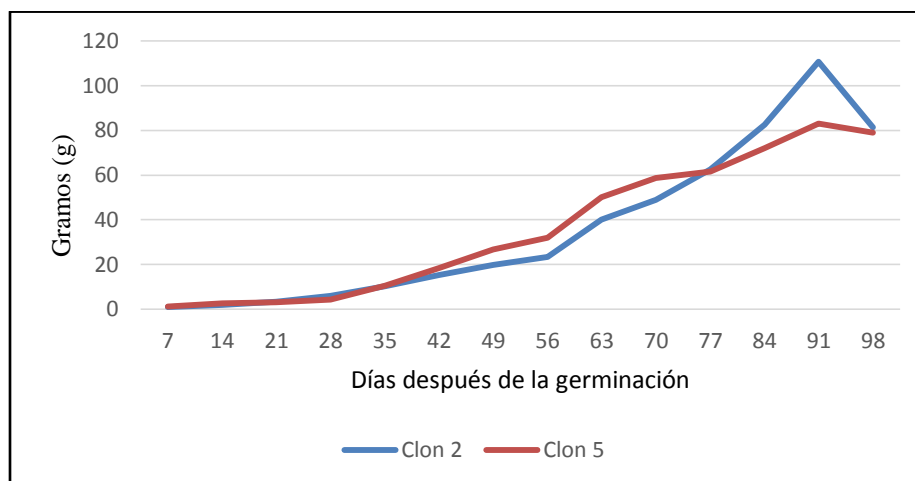


Figura 12. Acumulación de la materia seca total de la planta.

7.2 Fenología y grados calor día

La fenología de una planta está marcada en etapas que se pueden distinguir visiblemente, estas etapas de desarrollo están ligadas a los días después de la siembra, a la temperatura que es fundamental para los procesos metabólicos, esta se relaciona con los grados calor día acumulados por la planta, la acumulación de estos le permite que la planta continúe su desarrollo fenológico, así como la acumulación de grados frío son necesarios para que un caducifolio pase de su estado de dormancia a floración.

7.2.1 Escala descriptiva de los estadios fenológicos

Las observaciones semanalmente efectuadas durante la investigación, permitieron categorizar las etapas fenológicas de acuerdo a las escalas descriptivas (Tabla 4) determinando los momentos y los grados calor día para cada escala.

Antes de empezar con las descripciones de las etapas fenológicas, se relacionará la información con los resultados de la investigación obtenidos en el estudio de (Santos, 2010), cabe resaltar que él utilizó materiales diferentes a los evaluados en esta investigación. Estudió el

comportamiento de diferentes materiales de papa criolla en dos localidades con diferentes alturas. La localidad alta tiene una altitud de 2.859 m s. n. m, la temperatura promedio es de 10.52 °C con una temperatura mínima de 6 °C y una máxima de 15.4 °C. La localidad baja tiene una altitud de 2.572 m s. n. m, la temperatura promedio es de 12.5°C con una temperatura mínima de 7 °C y una máxima de 17.3 °C. A contraste con las condiciones donde se realizó este estudio con una altitud de 2.040 m s. n. m, la temperatura promedio es de 14°C con una temperatura mínima de 10.3 °C y una máxima de 27.5 °C. Las temperaturas mínimas y máximas se obtuvieron de los datos tomados con un Datalogger durante el periodo del cultivo.

A continuación se presenta un análisis comparativo de resultados encontrados en las etapas fenológicas a lo largo de esta investigación.

7.2.1.1 Brotación- germinación (estado: 0.0-0.9). Este estado fenológico se evaluó desde el momento de la siembra hasta el 50 % de emergencia de las plantas. En los clones no se presentaron diferencias, el tiempo de germinación fue de 18 días después de la siembra (DDS) con 215 grados de calor día acumulados (°CDa). Resultados similares al de la localidad baja en el estudio realizado por Santos (2010) en Cundinamarca. Esta etapa finalizó en la localidad alta a los 28 DDS y en la localidad baja a los 21 DDS.

7.2.1.2 Desarrollo de hojas (estado: 1.0-1.9). La etapa describe a las hojas que aparecen a lo largo del tallo y las ramas, hasta que alcanzan una longitud de 4 cm. No se presentó diferencia en los clones, las hojas alcanzaron la longitud planteada a los 25 DDS con 289 °CDa.

7.2.1.3 Formación de brotes laterales (estado: 2.0-2.9). Hace referencia a la formación de ramas en el tallo, iniciando en los dos materiales a los 32 DDS con 354 °CDa. Es casi similar a los resultados obtenidos por Santos (2010), en la localidad alta fue a los 49 DDS y en la localidad baja fue a los 42 DDS.

7.2.1.4 Elongación brotes principales (estado: 3.0-3.9). Es el proceso de cobertura del cultivo, cuando las plantas se encuentran entre hileras, los dos materiales alcanzaron la cobertura total a los 71 DDS con 625 °CDa. Sigue siendo menor a los datos obtenidos por Santos (2010), los cuales fueron a los 95 DDS para la localidad alta y 76 DDS en la localidad baja.

7.2.1.5 Formación de tubérculo (estado: 4.0-4.9). Esta etapa se evalúa desde el inicio de la formación de tubérculos, es decir, desde la etapa del ensanchamiento del estolón hasta el momento de la cosecha del tubérculo. En los dos clones inició a los 46 DDS con una acumulación de 437 grados de calor día y finaliza cuando ocurre la madurez fisiológica, es decir, cuando la piel del tubérculo no se desprende. Ocurrió en los dos clones a los 116 DDS con una acumulación de 1.045 grados de calor, la cosecha del tubérculo se pospuso con el fin de llegar hasta la senescencia del cultivo, lo cual fue a los 124 DDS con una acumulación de 1.118 grados calor día. Un periodo de 8 días desde la madurez fisiológica del 100% del cultivo hasta la senescencia de la planta. Los resultados son similares a los del estudio realizado por Santos (2010), en localidad alta empezó esta etapa a los 49 DDS y finalizó a los 126 DDS, en la localidad baja inicio a los 42 DDS y finalizó a los 119 DDS.

7.2.1.6 Aparición de órgano floral (estado: 5.0-5.9). La etapa hace referencia a la aparición de los botones florales de la primera inflorescencia, finalizando al presentarse los primeros pétalos. Para los dos clones esta etapa se inició a los 39 DDS con una acumulación de 396 °CDa, y finalizó a los 46 DDS con 436 °CDa. Los resultados son similares al realizado por Santos (2010) en donde el tiempo de inicio en la localidad alta fue a los 49 DDS y finalizó a los 56 DDS, en la localidad baja el inicio fue de 42 DDS y finalizó a los 49 DDS el periodo fue de 7 días, el tiempo transcurrido fue el mismo en los dos clones e igual al de esta investigación.

7.2.1.7 Floración (estado: 6.0-6.9). Abarca desde las primeras flores abiertas hasta el final de la floración, los dos inician a los 46 DDS con 436 °CDa. La floración finaliza en el clon 2 a los 81 DDS con 705 °CDa, en el clon 5 esta etapa finalizó una semana después, es decir, a los 88 DDS con 773 °CDa. En el estudio de Santos (2010) en la localidad alta el inicio fue a los 56 DDS y finalizó a los 112 DDS, en la localidad baja el inicio fue a los 49 DDS y finalizó a los 98 DDS. Los resultados de esta investigación se asemejan más al de la localidad baja.

7.2.1.8 Desarrollo del fruto (estado: 7.0-7.9 y 8.0-8.9). Esta etapa inicia con la aparición de las primeras bayas y finaliza cuando estas han alcanzado su máximo tamaño y maduración. Los materiales presentaron una baja fecundación, por esta razón se tendrán en cuenta los datos de las muestras destructivas con el objetivo de establecer una fecha más precisa. En el clon 2 de las nueve plantas pertenecientes a las muestras no destructivas, cuatro desarrollaron frutos, para el clon 5 de nueve plantas tan solo una desarrolló frutos. Por esta razón no se tendrá en cuenta el porcentaje de plantas de cada clon en esta etapa.

El inicio de fructificación en los dos materiales fue igual, siendo de 74 DDS con 650 °CDa. La maduración se presentó a mediados de la etapa de senescencia, a los 110 DDS con una acumulación de 974 °CD. El inicio de desarrollo de los frutos en los materiales estudiados por Santos (2010) fue de 83 DDS para la localidad alta y de 69 DDS para la localidad baja.

7.2.1.9 Senescencia (estado: 9.0-9.9). Esta etapa inicia desde el amarillamiento de las hojas hasta que se tornan café y finalmente mueren, los tallos se secan y toman una coloración café. Cabe resaltar que la cosecha de la papa criolla se realiza cuando la planta no ha finalizado la senescencia a diferencia de la papa común (*Solanum tuberosum*) la cual se espera hasta el final de esta etapa. En esta investigación se realizó la cosecha cuando la planta alcanzo la completa senescencia del cultivo. Esta etapa inicio en la misma fecha para los dos clones con la

característica de un amarillamiento del follaje en este momento las plantas tenían 102 DDS con una acumulación de grados calor día de 901 y finalizó a los 124 DDS con 1.118 °CDa.

Se muestra en la figura 13 un resumen de las principales escalas fenológicas donde se describe el estado fenológico, los días después de la siembra y los grados calor día acumulados para cada clon.

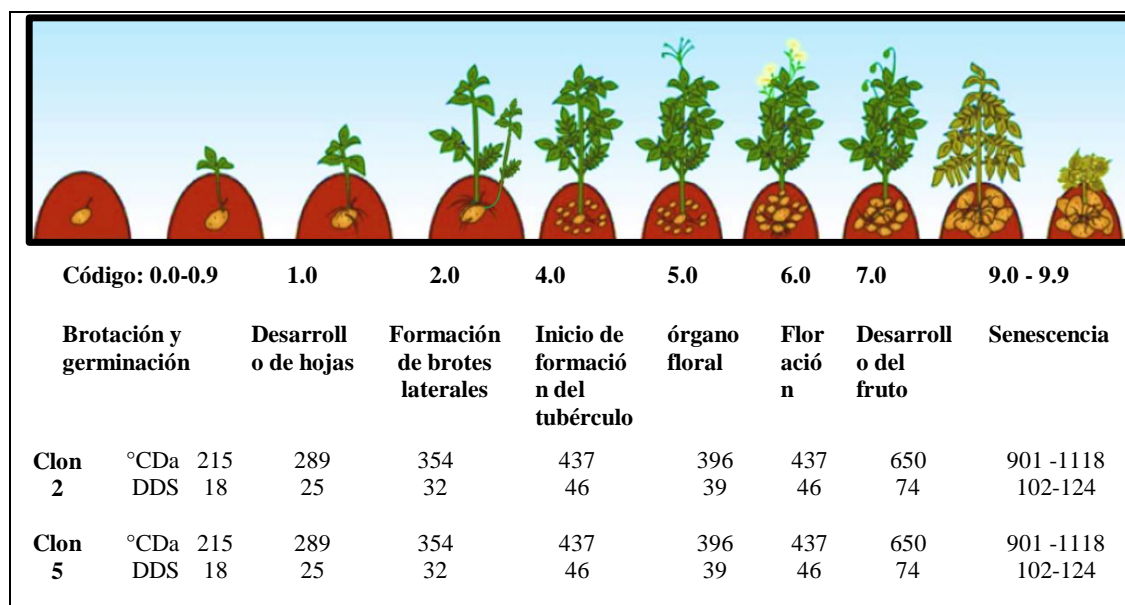


Figura 13. Descripción de las etapas fenológicas relacionadas con los grados calor día y los días después de la germinación.

Nota: La imagen empleada al comienzo de la figura 13 fue tomada de Flores, et al (2014) y modificado por el autor.

En la figura 14 se compara la acumulación de grados calor día en cada etapa fenológica para el clon 2 y 5.

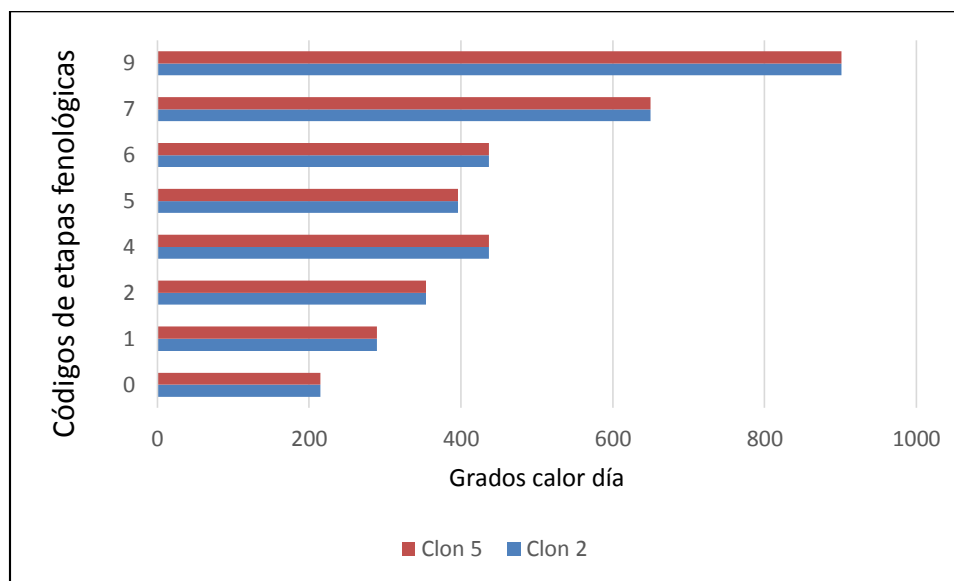


Figura 14. Acumulación de los grados calor día en las etapas fenológicas.

En la figura 13 y 14 se puede observar que no hay diferencias en la acumulación de los grados calor día de las etapas fenológicas para los clones evaluados.

7.3 Relación de las variables agronómicas con el rendimiento

Para saber con cual variable independiente tenía mayor correlación el rendimiento, se realizó una matriz de correlación de Pearson dando como resultado que el número de tubérculos tenía la más alta correlación, es decir, la correlación es directamente proporcional positiva, por ende, a medida que aumenta el número de tubérculos aumenta el rendimiento. En la tabla 6 se puede apreciar los valores.

Tabla 6.
Correlación de las variables en el rendimiento.

	Rendimiento	#Tubérculos	#Tallos	Ø Tallo	Altura	Clon
Rendimiento	1,0000					
#Tubérculos	0,7857	1,0000				
#Tallos	0,2607	0,2895	1,0000			
Ø Tallo	0,2376	0,1340	-0,3102	1,0000		
Altura	0,4770	0,4618	0,4100	0,2264	1,0000	
Clon	0,0109	0,0694	-0,0074	0,3349	0,1585	1,0000

Nota: El símbolo Ø hace referencia al diámetro, la correlación de Pearson se realizó en el programa STATISTIX. Fuente: Autor.

A continuación en la tabla 7 se muestra el resumen de los subconjuntos de modelos de regresión, y se observa a través de los coeficientes de Mallous (cp) y determinación (R²), el modelo donde las variables independientes son más son el número de tubérculos y el diámetro del tallo.

Tabla 7.

Resultados del mejor subconjunto de modelos de regresión múltiple para el rendimiento de los clones.

P	Cp	R ² ajustado	AICc –Min AICc	Resid SS	Modelo de variables
1	100,8	0,0000	55,97	6786870	Intercepte Sólo
2	4,8	0,6107	0,56	2597424	a
2	66,7	0,2143	42,70	5242357	d
2	92,1	0,0519	53,97	6325510	b
3	4,0	0,6223	0,00	2476505	a c
3	4,2	0,6210	0,20	2484940	a d
3	6,5	0,6058	2,56	2584437	a e
4	4,2	0,6273	0,52	2400783	a c d
4	4,6	0,6246	0,95	2417954	a c e
4	4,7	0,6241	1,03	2421333	a b c
5	4,5	0,6318	1,18	2329431	a c d e
5	5,0	0,6287	1,70	2349410	a b c e
5	5,8	0,6232	2,58	2384213	a b c d
6	6,0	0,6286	3,18	2307174	a b c d e

Nota: Datos arrojados por el programa STATISTIX, Fuente: Autor. Abreviaturas empleadas: Variables independientes: (A) Numero de tubérculos (B) Número de tallos (C) Diámetro del tallo (D) Atura de la planta (E) Clon. Fuente: Autor

Según el coeficiente de Mallous (Cp) y el R² ajustado, las variables que mejor contribuyen en el rendimiento son el número de tubérculos y el diámetro del tallo. Para saber el porcentaje de influencia de cada variable, se realizaron modelos de regresión simple, es decir, la variable de rendimiento con cada una de las variables independientes (tabla 8 y 9). En donde el R² ajustado permitió determinar el porcentaje de influencia de la variable en el rendimiento de cada clon. La variable número de tallos fue la más influyente. Estos resultados fueron similares a los de autores como Lara (2016), Cisneros (2015) y Morales et al (2011) donde encontraron que el número de tubérculos era la variable independiente que tenía una mayor correlación con la variable dependiente (rendimiento).

Tabla 8.

Influencia de las variables agronómicas en el rendimiento para el clon 2

Variable	R ² ajustado	Interpretación
Altura de la planta	0,2184	La altura de la planta hace variar el peso del tubérculo en un 22 %
Diámetro del tallo	0,0286	El diámetro del tallo hace variar el peso del tubérculo en un 3 %
Número de tubérculos	0,7127	El número de tubérculos hace variar el peso del tubérculo en un 71 %
Número de tallos	0,0614	El número de tallos hace variar el peso del tubérculo en un 6 %

Nota: Resultados del R² ajustado arrojados del programa STATISTIX. Fuente: Autor.

El orden de mayor a menor influencia en la variación del peso de los tubérculos como se puede evidenciar en la tabla 8 es el siguiente: el número de tubérculos es el principal debido a que está directamente relacionado con el peso de estos, la segunda variable es la altura de la planta la cual está relacionada con el tamaño de los órganos fuente, en tercer lugar se encuentra el número de tallos el cual influye en el rendimiento ya que un tallo secundario puede expresar el rendimiento de la misma forma que el principal. En el cuarto lugar se encuentra el diámetro del tallo que influye en una pequeña proporción en el rendimiento, pero este agronómicamente se puede relacionar con el número de tallos ya que a mayor tallos menor diámetro.

Tabla 9.

Influencia de las variables agronómicas en el rendimiento para el clon 5

Variable	R ² ajustado	Interpretación
Altura de la planta	0,1835	La altura de la planta hace variar el peso del tubérculo en un 18 %
Diámetro del tallo	0,0263	El diámetro del tallo hace variar el peso del tubérculo en un 3 %
Número de tubérculos	0,5118	El número de tubérculos hace variar el peso del tubérculo en un 51 %
Número de tallos	0,0212	El número de tallos hace variar el peso del tubérculo en un 2 %

Nota: Resultados del R² ajustado arrojados del programa STATISTIX. gFuente: Autor.

El orden de influencia de mayor a menor fue el número de tubérculos con una influencia del 51%, el segundo componente de rendimiento es la altura de la planta influenciando un 18% en el peso de los tubérculos, en el tercer lugar se encuentra el diámetro del tallo con una influencia del 3%, y por último se encuentra el número de tallos con una influencia del 2% en el peso de los tubérculos.

Los resultados anteriormente presentados en la tabla 8 y 9 se contrastan con los de Cisneros (2015) en donde el número de tubérculos y altura de la planta, obtuvieron los niveles de influencia más altos en el rendimiento. Otros autores involucran a la variable de número de tallos en el rendimiento, por ejemplo Lynch, Kozub & Kawchuk (2001) “El rendimiento de papa se puede definir como la suma del número de tallos, tubérculos y tamaño de éstos por planta”. Wiersema (1987) reporta la influencia de los tallos en el rendimiento, explica que “En forma tradicional, la densidad de un cultivo de papa se expresa como número de plantas por unidad de área. Pero una planta de papa comúnmente consiste de varios tallos. Cada tallo forma raíces, estolones y tubérculos, y se comporta como si fuese una planta individual.” También resalta se debe tener en cuenta los dos componentes, el primero es el número de plantas y el segundo es el número de tallos por planta. Otro aspecto importante en donde influyen los tallos es en el tamaño de los tubérculos, “La densidad de tallos afecta el número de tubérculos, el tamaño de tubérculos”.

En la cosecha se observó que las plantas con menos tallos, produjeron tubérculos con un crecimiento adecuado (categoría 2 y 1) mientras que las plantas que presentaban numerosos tallos, arrojaron mayor cantidad de tubérculos de menor tamaño. Resultados similares obtuvo Cisneros (2015) y cumple con la relación planteada por Wiersema (1987).

Morales et al (2016), demostró que el número de tallos en plantas de papa (*Solanum tuberosum* L.) influye en el rendimiento de manera exponencial hasta cierto punto. En sus resultados, una planta con un tallo produce un rendimiento de 28 toneladas por hectárea, con 2 tallos produce 41 toneladas por hectárea, con 3 tallos produce 50 toneladas por hectárea y con 4 tallos produce 52 toneladas por hectárea.

Los resultados en la influencia de las variables altura de la planta y diámetros del tallo concuerdan con una tendencia positiva a los resultados demostrados por Lara (2016).

7.3.1 Rendimiento

7.3.1.1 Peso de tubérculos por tamaños clasificados en categorías (cero, primera, segunda y riche). La categoría que mostró mayor peso fue la categoría uno con un rendimiento por hectárea de 15,6 toneladas para el clon 2 y 14,8 t/ha en el clon 5, la categoría dos demuestra un rendimiento de 8,5 t/ha en el clon 2 y 8 t/ha para el clon 5, seguida de esta se encuentra la categoría cero con un rendimiento de 2,6 t/ha en el clon 2 y de 3.9 t/ha para el clon 5, la categoría que obtuvo menor rendimiento fue la riche con un rendimiento de 0,3 t/ha en el clon 2 y 0,5 t/ha para el clon 5 como se evidencia en la figura 15.

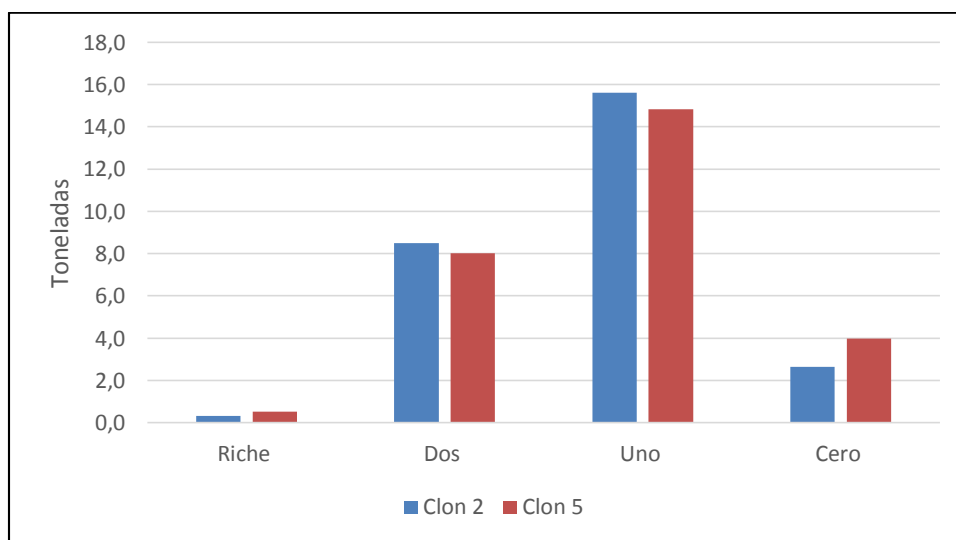


Figura 15. Rendimiento en categorías por hectárea.

Al compararlos con los resultados de Lara (2016), Villamizar (2015) y Herreño (2015) en donde la categoría que obtuvo mayor rendimiento fue la categoría dos, en esta investigación la categoría uno demostró tener un mayor rendimiento en comparación con las otras categorías.

7.3.1.2 Rendimiento por clon. El clon 5 mostró un rendimiento de 27,3 t/ha, superior al del clon 2 con un rendimiento de 27,09 t/ha. Con una diferencia de 210 kilogramos de rendimiento. Como se puede apreciar en la figura 16.

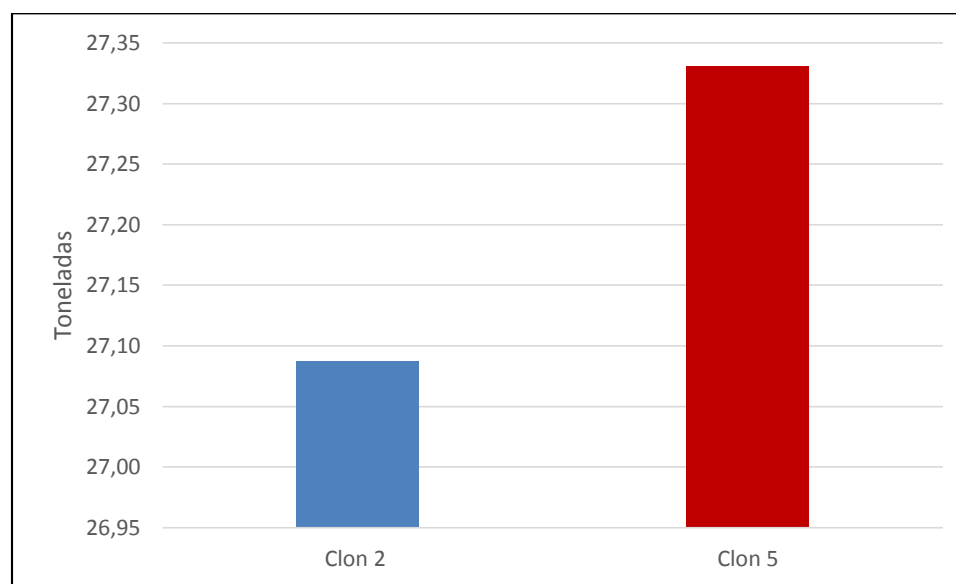


Figura 16. Rendimiento por clon (t/ha).

Los rendimientos de los dos materiales fueron mayores a los rendimientos departamentales (21,5 t/ha) y nacionales (15 t/ha). Los resultados fueron similares a los de Villamizar (2015) y Lara (2016) donde el rendimiento de los clones 2 y 5 fueron mayores al del promedio departamental y nacional.

Conclusiones

Los índices de crecimiento de los clones 2 y 5, presentan los mismos comportamientos en el ciclo del cultivo.

El ciclo del cultivo del clon 2 y 5 para la localidad de Chitagá es de 124 DDS con una acumulación de 1.118 grados calor día.

En las condiciones agroecológicas de Chitagá la madurez fisiológica del tubérculo se presenta a los 116 DDS con una acumulación de 1.045 °CD

El calendario de las prácticas culturales para los dos materiales son similares, debido a que presentan los mismos periodos de fenología.

Las variables que presentan más influencia en el rendimiento, es el número de tubérculos y el diámetro del tallo, con un porcentaje de influencia del 62%.

Los rendimientos de los clones superan al rendimiento departamental y nacional.

Recomendaciones

Se sugiere realizar investigaciones que tengan en cuenta las labores agronómicas aplicadas en cada estado fenológico, con el objetivo de determinar los estadios fenológicos donde la planta demuestra las mejores respuestas para las labores de fertilización, aporque y control de arvenses.

Tener en cuenta los ataques por plagas y enfermedades ya que estos generan un desequilibrio en la fisiología de la planta, afectando el rendimiento y calidad.

Reforzar en el plan de estudio las asignaturas de estadística y diseño de experimentos.

Referencias

- AGRONET. (12 de Diciembre de 2016). *AGRONET Ministerio de agricultura*. Recuperado el 12 de Abril de 2017, de <http://www.agronet.gov.co>
- Alcaldía Municipal de Chitagá. (2012). Recuperado el 26 de Noviembre de 2016, de <http://cdim.esap.edu.co/BancoMedios/Documentos%20PDF/chitaganortedesantanderpd20122015.pdf>
- Arias, V. (1996). *Evaluación del rendimiento en papa criolla (Solanum phureja), variedad "yema de huevo" bajo diferentes densidades de siembra en la sabana de Bogotá*. Bogotá. D.C: Agronomía Colombiana.
- Bautista, H. F. (2012). *Absorción de nutrientes de la papa diploide (Solanum phureja) variedad Criolla Colombia, como punto de partida para determinar niveles críticos nutricionales*. Universidad Nacional de Colombia. Bogotá, Colombia.
- Becerra sanabria , L., Mosquera, N., & Nústes. (2007). *Efecto de niveles de fósforo y potasio sobre el rendimiento del cultivar " Criolla Guaneña " en el departamento de Nariño*. Pasto, Nariño, Colombia : Revista de la Asociación Latinoamericana de la Papa. 14(1), 51-60. Recuperado el 20 de Enero de 2017, de <http://www.papaslatinas.org/v14n1p51.pdf>
- Blackman, V. (1919). *the compound interest law and plant growht*. Londres: Cambridge University Press. Recuperado el 05 de Mayo de 2017, de <https://goo.gl/BQctRr>
- Borner, J. (1959). *Principios de fisiología vegetal*. Madrid: Aguilar. Recuperado el 05 de Mayo de 2017
- Buitrago, C., Cante, M., Huertas, B., & Gómez, C. (1999). *Ecofisiología de papa (Solanum tuberosum) utilizada para cultivo fresco y para la industria*. Bogotá, Cundinamarca , Colombia : Revista Comalfi. Recuperado el 12 de Diciembre de 2016, de <https://www.scienceopen.com/document?vid=ad48df5a-ccc8-4f0f-aac9-4d28f8ff703a>
- Castro, H. (2005). *Balance y prospectiva de la investigación en el campo de la fertilización para el sistema de la producción de papa en Colombia*. Memorias: I Taller sobre suelo, fisiología y nutrición en el cultivo de papa. CEVIPAPA. Bogotá D.C.
- CEVIPAPA. (2004). *Cadena alimentaria de la papa*. Recuperado el 20 de Noviembre de 2016, de <http://www.cevipapa.org.co/publicaciones/publicaciones.php>
- Cisneros, C. (2015). *Evaluación del rendimiento agronómico de diez clones de papa criolla, (Solanum phureja Juz et Buck L.) en el municipio de Mutiscua, Norte de Santander (2° fase)*. Pamplona, Norte de Santander.
- Clavijo, J., & Montealegre, F. (1991). Análisis de Crecimiento en Malezas. *Bdigital* , 342-354. Recuperado el 14 de Diciembre de 2016, de <http://www.bdigital.unal.edu.co/24023/1/21124-71635-1-PB.pdf>
- Corchuelo, G. (1986). *Analisis de crecimiento*. Bogotá, Colombia: Universidad Nacional de Colombia Facultad de Agronomía. Recuperado el 05 de Mayo de 2017
- CORPOICA. (2014). analisis del la muestra de suelo de la Hacienda Carrillo. Pamplona, Colombia.
- D'Arcy, W. G. (1991). *Revision bibliográfica de las Solanaceas desde 1976*. taxonomy, chemistry, evolution. Recuperado el 2 de Noviembre de 2016

- Degiovanni, V., Martínez, C., & Motta, F. (2010). *Producción eco-eficiente del arroz en America Latina* (Primera ed., Vol. 1). (B. M. Degiovanni, Ed.) Cali, Colombia: Centro Internacional de Agricultura Tropical. Recuperado el 04 de Mayo de 2017, de http://ciat-library.ciat.cgiar.org/Articulos_Ciat/2010_Degiovanni-Produccion_eco-eficiente_del_arroz.pdf
- Esquema del Ordenamiento Territorial del area rural y urbana del municipio de Chitagá. (s.f.). Recuperado el 27 de Noviembre de 2016, de [http://cdim.esap.edu.co/BancoMedios/Documentos%20PDF/diagnostico_biofisico_chitag%C3%A1_\(77_pag_283_kb\).pdf](http://cdim.esap.edu.co/BancoMedios/Documentos%20PDF/diagnostico_biofisico_chitag%C3%A1_(77_pag_283_kb).pdf)
- Estrada, R. N. (2000). La biodiversidad en el mejoramiento genético de la papa. *Plural editores*.
- EXCEL. (2017). *Microsoft*. Recuperado el 27 de Abril de 2017, de Microsoft: <https://products.office.com/es-co/excel>
- FAO. (30 de mayo de 2013). *aeronoticias*. Recuperado el 20 de noviembre de 2016, de aeronoticias: http://aeronoticias.com.pe/noticiero/index.php?option=com_content&view=article&id=39049:dia-de-la-papa-celebraran-con-pasacalles&catid=47:47&Itemid=578
- FEDEPAPA. (2004). Guia ambiental para el cultivo de la papa. *Dirección de desarrollo sectorial sostenible.*, 13.
- FEDEPAPA. (Diciembre de 2010). Acuerdo de competitividad de la cadena agroalimentaria de la papa en Colombia. 30-39. Recuperado el 20 de Noviembre de 2016, de <https://sioc.minagricultura.gov.co/Papa/Documentos/004%20-%20Documentos%20Competitividad%20Cadena/004%20-%20D.C.%20-%20Nuevo%20Acuerdo%20Competitividad.pdf>
- Flores Magdaleno, H., Flores Gallardo, H., & Ojeda Bustamante, W. (Junio de 2014). Predicción fenológica del cultivo de papa mediante tiempo térmico. *SciELO*. Recuperado el 26 de Noviembre de 2016, de http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0187-73802014000200006
- Gaitán Moreno, Á., González Mogollón, M., Ñustez Lopez, C., Saldaña Villota, M., & Cotes Torres, J. (2013). Análisis funcional de crecimiento y desarrollo de cuatro variedades de papa (*Solanum tuberosum* subsp. Andigena). *Universidad Militar Nueva Granada* . Recuperado el 28 de Noviembre de 2016, de <https://revistas.unimilitar.edu.co/index.php/rfcb/article/view/344>
- García, B., & Pantoja, C. (2012). *Fertilización del cultivo de la papa en el departamento de Nariño*. Pasto, Nariño, Colombia. Recuperado el 12 de Diciembre de 2017, de <http://www.monmeros.com/descargas/dpmanualfrio.pdf>
- García, J. (28 de noviembre de 2014). *Consumo de papa*. Recuperado el 20 de Noviembre de 2016, de Consumo de papa: <https://consumoymercadodepapa.wordpress.com/2014/11/28/consumo-y-mercadeo-de-la-papa-en-colombia/>
- Gardner, F., Pearce, R., & Mitchell, R. (2003). *Physiology of crop plants*. Iowa: Blackwell. Recuperado el 12 de Diciembre de 2016, de <https://www.amazon.com/Physiology-Crop-Plants-Franklin-Gardner/dp/8172336624>
- Gómez, A., & Gómez, S. B. (2014). *Analisis de la cadena productiva de la papa criolla*. Bogotá D.C.

- González, Y. C. (5 de mayo de 2012). La maravillosa papa criolla. *El nuevo día*.
- González H., M., L., & O., M. O. (1986). crecimiento y desarrollo de sorgos contraste en vigor y precocidad. *revista fitotecnia mexicana* . Recuperado el 05 de Mayo de 2017
- Guillen López, A., & Gómez García, C. (2016). *Evaluación de la producción agronómica de la papa criolla (Solanum phureja Juz. et Buk.) orgánica, en la vereda Monteadentro del Municipio de Pamplona – Norte de Santander*. Pamplona, Norte de Santander, Colombia . Recuperado el 20 de Noviembre de 2016
- Hack, et al. (1993). *Etapas de desarrollo fenológico de la patata (Solanum tuberosum L.)*. Recuperado el 12 de diciembre de 2016
- Herreno, E. (2015). *Evaluación de las características morfoagronómicas y de la producción de nueve clones nativos de papa criolla (Solanum phureja Juz et Buck l.) en el municipio de Mutiscua – Norte de Santander*. Pamplona, Norte de Santander: Unipamplona. Recuperado el diciembre de 2016
- Hidalgo, O. (1999). *Produccion de tuberculos-semillas de papa*. Lima Perú: Centro Internacional de la Papa. Recuperado el 12 de Noviembre de 2016, de <http://cipotato.org/library/pdfdocs/55072.pdf>
- Huamán, Z. (1986). *Botánica sistemática y morfología de la papa*. Lima: Centro Internacional de la Papa. Recuperado el 12 de Diciembre de 2016, de https://books.google.com.co/books?id=96eF-eD6OHkC&printsec=frontcover&hl=es&source=gbs_ge_summary_r&cad=0#v=onepage&q=human%20&f=false
- Hunt, R. (1978). *análisis de crecimiento de las plantas*. Londres: Edward Arnold Publishers. Recuperado el 20 de Octubre de 2016, de https://www.researchgate.net/profile/Diego_Suarez3/publication/258627338_ANALISIS_DE_CRECIMIENTO_EN_PLANTAS/links/0deec528b711d87b72000000/ANALISIS-DE-CRECIMIENTO-EN-PLANTAS.pdf
- ICA. (2011). *Manejo fitosanitario del cultivo de papa (Solanum tuberosum subsp. andigena y S. phureja)*. Bogotá D.C.
- Idárraga, P. A. (2011). *Catálogo de plantas vasculares*. Medellín, Antioquia.: Cat. 2: 9–939. Universidad de Antioquia, Medellín.
- INIA. (s.f.). *infoagro*. Recuperado el 26 de Noviembre de 2016, de La fenología como herramienta en la agroclimatología: <http://www.infoagro.com/frutas/fenologia.htm#>
- Jarma, O. A. (2012). Efectos del cambio climático sobre la fisiología de las plantas cultivadas: Una revisión. *U.D.C.A Act. & Div. Cient.* 15(1), 63 - 76.
- Kooman, P., & Rabbinge, R. (1996). *Un análisis de la relación entre la asignación de materia seca para el tubérculo y la precocidad de un cultivo de Papa*. Países Bajos: Annals of Botany. Recuperado el 7 de Enero de 2017, de <https://www.google.com.co/search?q=Un+an%C3%A1lisis+de+la+relaci%C3%B3n+entre+la+asignaci%C3%B3n+de+materia+seca+para+el+tub%C3%A9rculo+y+la+precocidad+de+un+cultivo+de+Papa+Kooman%2C+P.+%26+Rabbinge%2C+R.&oq=Un+an%C3%A1lisis+de+la+relaci%C3%B3n+entre+la+>
- Krug, H. (1997). *influencias ambientales sobre el crecimiento del desarrollo y rendimiento*. London: CABI Publishing. Recuperado el 4 de enero de 2017, de <http://revistas.unal.edu.co/index.php/refame/rt/prINTERfriendly/24881/36728>

- Kucharik J., N. J. (1998). *Las mediciones de área de la rama y el ajuste de índice de área foliar a las mediciones indirectas*. Agric. Forest Meteorol.
- Lara, J. (2016). *evaluación de la fertilización en el rendimiento de cuatro clones de papa criolla (Solanum phureja juz et buek) en el municipio de Chitagá, Norte de Santander*.
- López, L. (1993). *Las papas silvestres de Colombia*. Bogotá D.C.: Revista Papa. Recuperado el 12 de diciembre de 2016, de http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_nlinks&ref=000077&pid=S0120-9965201100020000600016&lng=es
- Luján. (1990). *Como cultivar papa*. bogotá, Cundinamarca, Colombia : Fedepapa. Recuperado el 20 de Enero de 2017, de <https://books.google.com.co/books?id=KqEgAQAAIAAJ&pg=PA128&lpg=PA128&dq=Como+cultivar+papa+Fedepapa+Luj%C3%A1n&source=bl&ots=10cvbZse1G&sig=g3wTKIDOKo0G75IUVB0vIjhwflw&hl=es&sa=X&ved=0ahUKEwiMwISrzuJTahVFMyYKHU0UBHYQ6AEIKzAB#v=onepage&q=Como%20cultivar%20>
- Lynch, D., Kozub, G., & Kawchuk. (2001). The relationship between yield, mainstem number, and tuber number in five maincrop and two early-maturing cultivars. *American Journal of Potato Research*, 83–90. Recuperado el 17 de Marzo de 2017, de <https://link.springer.com/article/10.1007/BF02874763>
- Martinez, H. (2005). *La cadena de la papa en Colombia*. Obtenido de Agronet.gov.co: http://agronet.gov.co/www/docs_agronet/2005112163731_caracterizacion_papa.pdf
- Martínez, H., & Acevedo, X. (2004). *Características y estructura de la cadena de papa en Colombia*. Bogotá: Observatorio Agrocadenas Colombia. Recuperado el 18 de Octubre de 2016, de <http://revistas.unal.edu.co/index.php/actabiol/article/view/9774/36188>
- Martinez, H., Barrios, U., & Acevedo, X. (11 de diciembre de 2004). *Características y estructura de la cadena de papa en Colombia*. Colombia: Ministerio de Agricultura. Recuperado el 26 de Noviembre de 2016, de <http://www.bdigital.unal.edu.co/8744/1/790678.2010.pdf>
- Mendez, P. L., & Gaete, N. (1999). *Principales enfermedades que afectan el cultivo de la papa*. INIA, Carillanca.
- Ministerio de Agricultura. (2008). *Área y producción Agrícola y Pecuaria. Análisis - Estadísticas*. Recuperado el 29 de Noviembre de 2016, de www.Agronet.gov.co
- Morales Fernández, S. (Febrero de 2011). *Crecimiento, contenido de azúcares y capacidad de brotación en semilla tubérculo de papa (Solanum tuberosum L.)*. Chapingo-México: Universidad Autónoma Chapingo. Recuperado el 20 de Noviembre de 2016, de <https://chapingo.mx/horticultura/pdf/tesis/TESISDCH2011020406126373.pdf>
- Muñoz, L. A. (2008). *Efecto de la fertilización orgánica en el cultivo de papa criolla Solanum phureja*. Nariño, Colombia.
- Ñustez, L. (2011). *Variedades colombianas de papa*. Universidad Nacional de Colombia.: Primera edición, ISBN 978-958-761-100-7. 2011. p. 38-44.
- Perez, L. (2003). *Efecto del fraccionamiento de la fertilización con P,P,K y Mg y la aplicación de los micronutrientes B, Mn y Zn en el rendimiento y calidad de papa criolla (Solanum phureja) variedad criolla Colombia*. Agronomía Colombiana.
- Piñeros Niño, C. (2009). *Recopilación de la investigación del sistema productivo papa Criolla*. Cundinamarca, Colombia: FEDEPAPA. Recuperado el 17 de noviembre de 2016, de <https://sioc.minagricultura.gov.co/Papa/Documentos/005%20->

- %20Documentos%20T%C3%A9cnicos/005%20-%20D.T%20-%20Libro%20Papa%20Criolla.pdf
- Potato. (2008). Año internacional de la papa. *Potato2008*. Recuperado el 20 de Noviembre de 2016, de www.potato2008.org
- Pozo, M. (1997). *Tuberización, tamaño de la semilla y corte de tubérculos*. Capacitación. Centro Internacional de la papa (CIP). Recuperado el 20 de Enero de 2016, de <http://192.156.137.121:8080/cipotato/training/Materials/Tuberculos-Semilla/Semilla2-3.pdf>
- Quevedo, E. I. (2003). Evaluación del crecimiento vegetativo del tomate (*Lycopersicon esculentum* Miller) en Fusagasugá bajo tres niveles de radiación incidente. *Ciencia y Tecnología Agropecuaria Revista de la Facultad de Ciencias Agrarias*, 1(2), 4-16. Recuperado el 04 de Mayo de 2017
- Rawson, H. M. (2001). *Trigo regado*. Roma: FAO. Obtenido de <http://www.fao.org/docrep/006/x8234s/x8234s0b.htm>
- Real Academia Española. (s.f.). *Real Academia Española*. Recuperado el 27 de Abril de 2017, de Real Academia Española: <http://dle.rae.es/?id=YErIG2H>
- Rios, Q. J. (2010). *Determinación del Efecto de Diferentes Niveles de Fertilización en Papa (Solanum tuberosum ssp. Andigena) DIACOL Capiro en un Suelo con Propiedades Ándicas de Santa Rosa de Osos, Colombia*. Obtenido de <http://www.scielo.org.co/pdf/rfnam/v63n1/a02v63n01.pdf>
- Rodríguez Pérez, L. (2010). Ecofisiología del cultivo de la papa. *La fisiología de los cultivos de hortaliza*. Recuperado el 16 de Diciembre de 2016, de <http://www.soccolhort.com/revista/pdf/magazin/Vol4/vol.4%20no.1/Vol.4.No.1.Art.9.pdf>
- Rodríguez, L., Corchuelo, G., & Núñez, C. (2001). Densidad de población y su efecto sobre el rendimiento de papa (*Solanum tuberosum* L.cv. Parda pastusa). *Redalyc*. Recuperado el 12 de Noviembre de 2016, de <http://www.redalyc.org/html/1803/180317823004/>
- Rodríguez, W., & Leihner, D. (2006). *Análisis del crecimiento vegetal*. (E. Villalobos, Ed.) Costa Rica: Editorial Universidad de Costa Rica. Recuperado el 05 de Mayo de 2017, de <https://books.google.com.co/books?id=69570TbkSxwC&pg=PA6&lpg=PA6&dq=blackman+indices+de+crecimiento&source=bl&ots=z1ryakze3R&sig=tnMPLjeteON0eP0noPKeT7AgZ60&hl=es&sa=X&ved=0ahUKEwjbotig-djTAhUK4CYKHXXcBN4Q6AEIIDA#v=onepage&q=blackman&f=false>
- Rodriguez, J. (2002). *Efecto a la aplicación del grado fertilizante 12-34-12 sobre rendimiento y calidad de la papa criolla Solanum phureja var Yema de Huevo en un Humic pachic Dystrudept de Cundinamarca*. Bogotá. 61 p.: Facultad de Ingenierías. Institución Universitaria de Ciencias Aplicadas y Ambientales.
- Santamría, M. G. (2010). *Evaluación de la producción limpia de papa criolla (Solanum phureja) en Madrid Cundinamarca*. Bogotá D.C: Inventum 9°.
- Santos Castellanos, M., Segura Abril, M., & Núñez López, 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*. Recuperado el 04 de Mayo de 2017, de <http://revistas.unal.edu.co/index.php/refame/article/view/24945/36980#fig01>
- Santos, M. (2010). *Evaluación del crecimiento, desarrollo y componentes de rendimiento de cuatro cultivares de papa criolla en dos localidades del departamento de Cundinamarca*.

- Bogotá D.C.: Universidad Nacional De Colombia. Recuperado el 23 de Octubre de 2016, de <https://www.google.com.co/search?q=martinez+caracteristicas+y+estructura+de+la+cadena+de+papa+en+colombia&oq=martinez+caracteristicas+y+estructura+de+la+cadena+de+papa+en+colombia+&aqs=chrome..69i57.30509j0j7&sourceid=chrome&ie=UTF-8#q=martinez+barrios+ac>
- STATISTIX. (s.f.). *Statistix 10 Data analysis software for researchers*. Recuperado el 27 de Abril de 2017, de Statistix 10 Data analysis software for researchers: <https://www.statistix.com/features/>
- Tamayo, M. (2003). *El proceso de la investigacion cientifica* (Cuarta ed.). México, Mexico : Limusa S.A. Recuperado el 20 de Diciembre de 2016, de <https://clea.edu.mx/biblioteca/Tamayo%20Mario%20-%20El%20Proceso%20De%20La%20Investigacion%20Cientifica.pdf>
- Tekaling, T., & Hammes , P. (2005). *Growth and productivity of potato as influenced by cultivar and reproductive growth*. Scientia Horticulturae. Recuperado el 05 de Mayo de 2017, de https://www.researchgate.net/publication/226889722_Response_of_potato_grown_under_non-inductive_condition_to_paclobutrazol_Shoot_growth_chlorophyll_content_net_photosynthesis_assimilate_partitioning_tuber_yield_quality_and_dormancy
- Univerisdad de California. (1998). Metodología para el cálculo de Unidades Calor diseñada por la University of California, Agriculture and Natural Resources, empleada en el SIMARBC. *university of california agriculture & natural resurces*. Recuperado el 20 de Diciembre de 2016, de <http://www.simarbc.gob.mx/descargas/MetodologiaUC.pdf>
- Villamizar, L. (2015). *Comparación del potencial de rendimiento del tubérculo en diez clones nativos de papa criolla (Solanum phureja) en dos ciclos productivos en el municipio de chitagá – Norte de Santander*. Universidad de Pamplona, Departamento de Agronomía . Pamplona: Universidad de Pamplona. Recuperado el 20 de Diciembre de 2016
- Warren Wilson, J. (1981). *Analysis of growth, photosynthesis and light interception for single plants and stands*. (A. o. Botany, Ed.) Annals of Botany. Recuperado el 04 de 05 de 2017, de <https://academic.oup.com/aob/article-abstract/48/4/507/223230/Analysis-of-Growth-Photosynthesis-and-Light>
- Wiersema, S. (1987). *Efecto de la densidad de tallos en la produccion de papa*. (Vol. 3). Lima, Perú: Centro internacional de papa.
- Wiserma, S. (1987). *Efecto de la densidad de tallos en la producción de papa*. Lima: Centro Internacional de la Papa (CIP). Recuperado el 3 de Diciembre de 2016, de http://pdf.usaid.gov/pdf_docs/PNABD590.pdf
- Yanez Navarrete, Z. (1999). *Estudio de la fenología de cinco variedades de papa (Solanum tuberosum l.) en dos épocas de siembra*. Riobamba-Ecuador: Escuela de Ingeniería Agronómica. Recuperado el 26 de Noviembre de 2016, de [https://books.google.com.co/books?id=DuAiAgAAQBAJ&pg=PT14&lpg=PT14&dq=ESTUDIO+DE+LA+FENOLOGIA+DE+CINCO+VARIEDADES+DE+PAPA+\(SOLANUM+TUBEROSUM+L.\)+EN+DOS+EPOCAS+DE+SIEMBRA+zoila&source=bl&ots=Pr-IW1gE9L&sig=mb__ZW2_bAli6TBfGVXnexawQzM&hl=es&sa=X&ved=0ahUKEw](https://books.google.com.co/books?id=DuAiAgAAQBAJ&pg=PT14&lpg=PT14&dq=ESTUDIO+DE+LA+FENOLOGIA+DE+CINCO+VARIEDADES+DE+PAPA+(SOLANUM+TUBEROSUM+L.)+EN+DOS+EPOCAS+DE+SIEMBRA+zoila&source=bl&ots=Pr-IW1gE9L&sig=mb__ZW2_bAli6TBfGVXnexawQzM&hl=es&sa=X&ved=0ahUKEw)
- Zapata, J. L. (2006). *Manejo agronómico de la papa criolla para el procesamiento industrial*. Centro de Investigación La Selva. Rionegro.: Corpoica. Boletín Técnico No. 19.

Anexos

Anexo 1. Valor de los índices de crecimiento.

CLON	DDG	TCR	TAC	TAN	TCC
2	14	0,073	0,286	0,415	11,429
2	21	0,067	0,429	0,370	8,746
2	28	0,090	1,000	0,453	10,000
2	35	0,073	1,429	0,464	9,921
2	42	0,060	1,857	0,450	8,254
2	49	0,055	2,571	0,487	8,898
2	56	0,044	2,857	0,474	8,818
2	63	0,039	3,429	0,481	9,497
2	70	0,039	4,429	0,531	7,381
2	77	0,027	3,857	0,410	4,821
2	84	0,019	3,143	0,334	2,245
2	91	0,014	2,571	0,302	1,978
2	98	-0,032	-5,714	-1,049	-2,616
5	14	0,073	0,286	0,394	7,937
5	21	0,084	0,571	0,533	8,929
5	28	0,082	1,000	0,529	10,000
5	35	0,085	1,857	0,686	12,897
5	42	0,066	2,429	0,673	10,794
5	49	0,049	2,714	0,571	9,392
5	56	0,042	3,143	0,553	8,706
5	63	0,036	3,571	0,506	5,411
5	70	0,033	4,143	0,448	5,179
5	77	0,027	4,143	0,384	4,082
5	84	0,014	2,571	0,270	1,749
5	91	-0,003	-0,571	-0,070	-0,309
5	98	-0,010	-1,714	-0,351	-0,932

Nota: Los valores de la TCR se miden en $\text{g g}^{-1} \text{ día}^{-1}$ los de la TAC g día^{-1} la TAN se midió en $\text{mg cm}^{-2} \text{ día}^{-1}$ y los resultados de la TCC están en $\text{mg cm}^{-2} \text{ día}^{-1}$ Fuente: Autor

Anexo 2. Inicio de floración.



Fuente: autor

Anexo 3. Cobertura total del cultivo



Fuente: autor

Anexo 4. Senescencia de la planta.



Fuente: autor

Anexo 5. Recolección de muestras destructivas



Fuente: autor

Anexo 6. Empacado de la muestra



Fuente: autor

Anexo 7. Muestra completa



Fuente: autor

Anexo 8. Secado de muestras en horno.



Fuente: autor

Anexo 9. Peso de hojas secas.



Fuente: autor

Anexo 10. Recolección de los tubérculos



Fuente: autor

Anexo 11. Clasificación de tubérculos por categorías.



Fuente: autor

Anexo 12. Peso de tubérculos por clasificación.



Fuente: autor