

**ESTADOS FENOLOGICOS Y FISIOLÓGICOS DEL CULTIVO DE PAPA
CRIOLLA (*Solanum phureja* Juz. et Buk.) VARIEDAD COLOMBIA EN EL
MUNICIPIO DE PASTO**

**PHENOLOGYCALS AND PHISIOLOGYCALS STATES OF CRIOLLA POTATO
CROP (*Solanum phureja* Juz. et Buk.) COLOMBIAN VARIETY IN THE
MUNICIPALITY OF PASTO**

MARY ELISA BASTIDAS ERAZO¹
FRANCISCO JAVIER MUÑOZ BURBANO¹
HERNANDO CRIOLLO ESCOBAR²

RESUMEN

El presente trabajo se realizó en el Centro Experimental Obonuco, ubicado en el Corregimiento de Obonuco, Municipio de Pasto, situado a una altitud de 2993 metros sobre el nivel del mar y a una temperatura promedio de 12 °C y en el Laboratorio de Fisiología Vegetal de la Universidad de Nariño, con el objetivo de describir la fenología del cultivo y evaluar el comportamiento de los índices de crecimiento y de sus componentes. Se encontró como uno de los aspectos más importantes que la emergencia del cultivo inició a los 19 días después de la siembra (dds), la formación de tubérculos se presentó a los 45 dds y se alcanzó la madurez comercial del cultivo a los 135 dds. El mayor valor de área foliar e índice de área foliar fue de 8426.97 cm² y 2.34 respectivamente y se alcanzó a los 120 dds, tiempo en el cual se presentó el mayor valor de peso seco/planta con 217.96 gr. La mayor tasa de asimilación neta (6.18×10^{-4} g/cm²x15días) y tasa de crecimiento del cultivo (15.83 g/cm²x15días), se alcanzaron entre 90 y 120 dds. La tasa de crecimiento relativo presentó el mayor valor (6.6×10^{-2} g/msx15días) a los 30 dds, cuando el área foliar estuvo expuesta directamente a la radiación solar. Se encontró un índice de cosecha de 0.51, el cual se encuentra cercano a los índices reportados para las regiones del trópico. Se determinó que de los tubérculos cosechados el 21.8 % corresponde a la categoría mediano (2A); el 28.72 % lo ocupa la categoría muy pequeño y la categoría de tubérculos muy grande ocupó el más

¹ Estudiantes Investigadores, Facultad de Ciencias Agrícolas, Universidad de Nariño, Pasto, Colombia. E-mail maryelisabastidas@yahoo.es y framu1085@yahoo.es.

² M.Sc. Profesor asociado. Programa de Ingeniería Agronómica. Facultad de Ciencias Agrícolas. Universidad de Nariño, Pasto, Colombia. E-mail hcriollo@udenar.edu.co

bajo porcentaje con 12 %. El análisis de sendero determinó que el número de tallos/planta fue la variable que tuvo mayor efecto total (0.4375) sobre el rendimiento.

Palabras claves: Índice de área foliar, Tasa de asimilación neta, Tasa de crecimiento del cultivo, Índice de cosecha, Análisis de sendero.

ABSTRACT

This work was developed at the Experimental Center of Obonuco, which is located in the Corregimiento de Obonuco, municipality of Pasto. Obonuco is at 2993 meters high above sea level, and its average temperature is 12 °C and in the University of Nariño Plant Physiology Laboratory, with the objective to describe the crop Phenology, it was established the growth indexes and finally it was evaluated the yield components. It was found as one of the most important aspects that crop emergency was at 19 days after planting (dap), the tubers information was occurred at 45 dap, and the crop commercial maturity was reached at 135 dap. The highest leaf area (LA) value and the highest leaf index area was 8426.97 cm² and 2.34 respectively, and reached the 120 dap; time in which the dry weight (DW) was reached an average value which was 217.96 gr. The biggest net assimilation rate (NAR) (6.18x10⁻⁴ g/cm²x15días) and Crop Growth Rate (CGR) (15.83 g/cm²x15días), were reached between 90 and 120 dds. The Relative Growth Rate (RGR) presented biggest value (6.6x10⁻² g / ms x 15días), when the leaf area were exposed to solar radiation. It was found a Crop Index (CI) of 0.51, its near to indexes reported for the tropic regions It was determined that 21.8 % of tubers gathered corresponds to the Medium category (2A); 28.72 % corresponds to the very small category and 12% of tubers corresponds to the very large category tubers held the lowest percentage with. The Path Analysis determined that the highest total effect (0.4375) towards the yield is provided by the number of stems/plant.

Key Words: Leaf area index, Net assimilation rate, Crop growth rate, Crop index, Path coefficient.

INTRODUCCIÓN

En Colombia, la papa es uno de los cultivos de mayor importancia económica debido a que juega un papel fundamental en la canasta familiar. Este cultivo, está ligado a la tradición agrícola que caracteriza a la zona Andina de Nariño, donde para el año 2006, el Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural reportó 29.115 hectáreas sembradas con 547.366 toneladas de producción, ubicando al Departamento como el segundo productor de papa en Colombia. Peña L, 2000 afirma que en Nariño las zonas de producción se encuentran ubicadas entre los 2.700 y 3.200 metros de altura donde las condiciones climáticas favorables durante casi todo el año, permiten desarrollar cultivos escalonados.

Durante el Semestre B de 2005 y el Semestre A de 2006 se reportó que el 6% de la producción de papa en Nariño, es de papa criolla, la cual se cultiva en mayor cantidad en los Municipios de Córdoba, Gualmatán, Ipiales, Puerres, El Encano, Pasto, Potosí, Pupiales y Tuquerres. En este sentido, la papa criolla para el semestre B del año 2005 y el semestre A del 2006, representó 1.933 hectáreas cosechadas, que proporcionaron una producción de 27.311 toneladas, con un rendimiento promedio de 14 toneladas por hectárea (Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural. 2006).

CEVIPAPA (2000), destaca el alto poder nutritivo, ya que posee el doble de nutrientes con respecto a la papa común, resaltando sus contenidos porcentuales de agua 75.5; fósforo 54.0; proteína 0.5; hierro 0.60; grasas 0.1; carbohidratos 18.7; fibra 2.2; calorías 83. Estas y otras características, hacen de *Solanum phureja* una alternativa de alto potencial para las zonas donde es cultivada.

Más del 90% de la materia seca de la papa es derivada de la fijación fotosintética de CO₂. La asimilación total de éste CO₂, así como la repartición de lo fotoasimilados puede limitar la producción del cultivo (Hunt, 1978). La papa es una planta de metabolismo C3, plantas que presentan un alto nivel de compensación de CO₂. El valor alto del punto de

compensación de CO₂ de plantas C3 significa que ellas mantienen tasas medias de asimilación de CO₂ a las concentraciones promedio de CO₂ en el ambiente. Las plantas de metabolismo C3 presentan fotorespiración y el rendimiento cuántico es superior a temperaturas por debajo de los 25 °C (CEVIPAPA, 2005). El ambiente afecta el crecimiento y desarrollo de las plantas de papa especialmente porque interviene en la producción de biomasa y se alteran los patrones de partición de asimilados. La intensidad lumínica, afecta porque bajo condiciones de baja intensidad el suplemento de carbohidratos se limita (Gawronska, 1989).

El análisis de crecimiento ha sido utilizado de dos maneras: el clásico, originado de los trabajos de Blackman en 1919 que se basó en medidas hechas a intervalos relativamente largos de tiempo, usando un gran número de plantas y el análisis funcional que comprende medidas a intervalos de tiempo mas frecuentes usando un número pequeño de plantas; éste tipo de análisis propuesto por Radford en 1967, permite desarrollar cálculos a partir de peso seco y del área foliar, para obtener así los índices de crecimiento: tasa de asimilación neta (TAN), tasa de crecimiento relativo (TCR), tasa de crecimiento de cultivo (TCC) y área foliar (IAF) (Coombs, J 1988).

El gran posicionamiento de la papa criolla en términos nutricionales y económicos, requiere profundizar en temas cuyo propósito sea conocer el comportamiento fenológico y fisiológico de las plantas para ser tenidos en cuenta en términos prácticos para la producción del cultivo; en este sentido, en el presente trabajo se propuso como objetivos determinar los estados fenológicos más importantes y evaluar las variables fisiológicas relacionadas con crecimiento como índice de área foliar, tasa de asimilación neta, tasa de crecimiento del cultivo, tasa de crecimiento relativo e índice de cosecha en el cultivo de papa criolla (*S. phureja* Juz. et Buk.) variedad Criolla Colombia.

1. METODOLOGIA

1.2 Localización. La investigación en su fase de campo se realizó en el Centro Experimental Obonuco, ubicado en el Municipio de Pasto, situado a una altitud 2993

msnm y a una temperatura promedio de 12 °C (FEDEPAPA-SIG, 2007). La fase de laboratorio se ejecutó en el Laboratorio de Fisiología Vegetal de la Universidad de Nariño sede Torobajo.

1.3 Area experimental. El lote experimental ocupó un área de 360 m², con 20 surcos de 15 m de largo, distanciados a 1.2 m; en cada surco se sembraron 50 tubérculos separados a 0.3 m; para un total de 1000 plantas. El área útil tuvo una dimensión de 234.6 m² con 652 plantas, de donde se extrajo quincenalmente las plantas utilizadas para muestreo, las cuales se encontraban en competencia completa. El suelo presentó una densidad aparente de 1 g/cm³, un pH de 5.3 (ácido), grado textural arcilloso-arenoso (Ar-A), un porcentaje de materia orgánica de 7.0 (alto), fósforo 13.6 ppm (alto), potasio 0.28 meq/100g de suelo (bajo), calcio 10.8 meq/100g de suelo (medio), magnesio 2.47 meq/100g de suelo (bajo) y capacidad de intercambio catiónico de 22.6 meq/100g de suelo (alta).

1.4 Prácticas culturales. Previo a la preparación del terreno se realizó una aplicación de Glifosato 1.5 kg de ia/ha para manejo de arvenses. Se realizó la preparación del terreno con una arada de discos, una arada con cincel y dos rastrilladas. Posteriormente se efectuó la siembra empleando semilla de papa criolla (*S. phureja* Juz et Buk) variedad Criolla Colombia, cuyo proveedor fue la Federación Nacional de Productores de Papa FEDEPAPA. Se utilizó tubérculos semilla cuyo peso osciló entre 20 y 30 g, los cuales fueron depositados a una profundidad de 9 cm.

La fertilización se realizó teniendo en cuenta los resultados del análisis de suelos, aplicando superfosfato triple (SFT) al momento de la siembra 25 kg/ha, sulfato de amonio (SAM) 50 kg/ha y cloruro de potasio (KCl) 25 kg/ha. Se realizó la primera deshierba manual a los 25 dds y a los 50 dds se realizó el aporque donde se aplicó 50 kg/ha de SAM y 25 kg/ha de KCl.

Para el manejo fitosanitario se tuvo en cuenta el estado sanitario del cultivo y las condiciones ambientales que se presentaron durante el ciclo del cultivo. En total se realizaron cinco aplicaciones dirigidas a prevenir y controlar enfermedades causadas por

Phytophthora infestans con productos a base de ingredientes activos como: Mancozeb (1 kg/ha), Cymoxanil (2 kg/ha) y Dimetomorf (0.8 kg/ha). Para plagas como *Epitrix cucumeris* se realizaron aplicaciones de Metomyl (0.5 L/ha).

1.5 Variables evaluadas.

1.5.1 Fenología

1.5.1.1 Tiempo a emergencia. Una vez realizada la siembra, se observó el momento en que los primeros brotes originados del tubérculo semilla emergieron sobre la superficie del suelo y se determinó el tiempo de emergencia contabilizando que el 50% de las plantas presentaron las características descritas anteriormente.

1.5.1.2 Tiempo a inicio de la tuberización. Se evaluó en 10 plantas, las cuales se extrajeron del suelo y el inicio del proceso de tuberización se determinó por el ensanchamiento de la punta de los estolones.

1.5.1.3 Tiempo a inicio de floración. Se estableció cuando el 25% de la población de plantas presentaron los primeros botones florales.

1.5.1.4 Tiempo a inicio de fructificación. Se determinó cuando se observó la aparición de las primeras bayas.

1.5.1.5 Tiempo a madurez fisiológica. Se evaluó teniendo en cuenta la acumulación de materia seca en 10 plantas, en cada evaluación. Cuando se observó que el incremento de materia seca entre una evaluación y otra fue mínimo, se determinó la madurez fisiológica.

1.5.1.6 Tiempo a cosecha. Se realizó cuando el cultivo llegó a madurez fisiológica y los tubérculos presentaron la piel fija; no removible y se desprendieron fácilmente del estolón.

1.5.2 Fisiología y Crecimiento Cada 15 días se realizaron lecturas que contemplaron la extracción de 10 plantas ubicadas dentro del área útil y en competencia completa. Se evaluaron las siguientes variables:

1.5.2.1 Área foliar (AF). Se determinó área foliar en centímetros cuadrados, tomando con un sacabocados de 1 cm de diámetro 10 muestras de hoja de diferentes estratos de la planta; posteriormente se llevaron al horno a 70 °C por 48 horas. Con base en estos valores y con el peso seco del total de hojas se determinó el AF en los diferentes intervalos de tiempo evaluados, mediante la siguiente fórmula (Gómez, C *et al*, 1999):

$$AF \text{ (cm}^2\text{)} = \frac{(\pi(d/2)^2 \times 10) \times \text{peso seco total de las hojas (g)}}{\text{peso seco de los 10 discos (g)}}$$

Donde: d: Diámetro del sacabocados (cm)
 $\pi(d/2)^2 \times 10$: área de diez discos

1.5.2.2 Altura de plantas. Se realizó, ubicándose en cada planta seleccionada y midiendo con un flexómetro graduado en centímetros, desde el suelo hasta el ápice de la planta.

1.5.2.3 Numero de tallos. Para ésta medición se marcaron diez plantas y se contabilizó el número de tallos cada 15 días durante todo el ciclo del cultivo, calculando en cada evaluación el promedio de las diez plantas.

1.5.2.4 Crecimiento de tubérculos. En cada una de las evaluaciones quincenales, se efectuó la medición del diámetro ecuatorial (en centímetros) de la totalidad de los tubérculos de cada planta extraída, empleando un pie de rey.

1.5.2.5 Materia seca. Para la estimación de la biomasa vegetal seca total y por órganos (raíz, tallos, hojas, flores, frutos y tubérculos), la planta se desmembró y colocó en bolsas de papel las cuales se transportaron al Laboratorio de Fisiología Vegetal, para el posterior secado en horno, a una temperatura de 70° C por un periodo de 48 horas. Se asumió la medida de peso seco (en gramos) de plantas como dato de materia seca (Ñustez, 2002).

1.5.2.6 Longitud máxima radical. En cada una de las plantas evaluadas se estiró toda la estructura radical para medir la longitud de la misma con un flexómetro, graduado en centímetros.

1.5.3 Índices de crecimiento.

1.5.3.1 Índice de área foliar (IAF). Indica el crecimiento foliar de los cultivos expresado en unidad de área foliar, por unidad de suelo ocupada (Gómez, C *et al*, 1999). Con base en los datos de área foliar, se procedió a establecer la relación existente entre el área foliar de la planta y el área que ocupa la planta en el campo (120 cm x 30 cm = 3600 cm²). Se determinó con la fórmula:

$$\text{IAF} = \text{AF}/\text{AC} \quad \text{Donde: AF: Área foliar en cm}^2$$
$$\text{AC: Área que ocupa la planta (3600 cm}^2)$$

1.5.3.2 Tasa de asimilación neta (TAN). Este indicador de la eficiencia fotosintética, determina el incremento en peso seco quincenal por unidad de superficie foliar; la unidad de medida es g/cm² foliar x 15 días; se calculó mediante la fórmula (Gómez, C *et al*, 1999).

$$\text{TAN} = \frac{P_2 - P_1}{T_2 - T_1} \times \frac{\text{Log } Af_2 - \text{Log } Af_1}{Af_2 - Af_1} = \text{g/cm}^2 \text{ foliar x 15 días}$$

Donde: $P_2 - P_1$: Incremento de peso seco de toda la planta en 15 días
 $Af_2 - Af_1$: Incremento del área foliar en 15 días
 $T_2 - T_1$: Tiempo entre una muestra y la otra

1.5.3.3 Tasa de crecimiento del cultivo (TCC). Indica la ganancia en peso por planta por unidad de área foliar por unidad de suelo ocupada por el cultivo; se mide en g/cm² Suelo x15 días, y se determinó mediante la siguiente fórmula (Ñustez, 2002):

$$\text{TCC} = \frac{\text{Af} \times (P_2 - P_1)}{\text{As} \times (T_2 - T_1)} = \text{g/cm}^2 \text{ Suelo x15 días}$$

Donde: Af: área foliar en cm²
As: área del suelo en cm² ocupada por la planta
P₁: materia seca total por planta en gramos en el tiempo 1
P₂: materia seca total por planta en gramos en el tiempo 2
T₂ - T₁: Intervalo de tiempo de evaluación.

1.5.3.4 Tasa de crecimiento relativo TCR. Se define como el incremento en peso seco por unidad de materia seca acumulada y por unidad de tiempo, se mide en (g ms/ms acumulada)/tiempo (Radford, 1967). Se determinó mediante la fórmula:

$$\text{TCR} = \frac{\text{Log } P_2 - \text{Log } P_1}{T_2 - T_1} = \frac{\text{g ms /g ms acumulada}}{\text{tiempo}}$$

1.5.3.5 Índice de cosecha (IC). Se obtuvo mediante la relación entre el rendimiento económico (peso seco en gramos de los tubérculos tomados de 10 plantas evaluadas en la última toma de muestras al momento de la cosecha) y el rendimiento biológico (peso seco total de las 10 plantas) (Ascencio, 1972).

$$\text{IC} = \text{RE/RB} \quad \text{Donde: RE: Rendimiento económico}$$

RB: Rendimiento biológico

1.5.4 Componentes de rendimiento.

1.5.4.1 Rendimiento. Teniendo en cuenta que el muestreo fue destructivo, se presentó una reducción en el área sembrada del cultivo, por tanto el rendimiento fue estimado ubicando en el lote cinco zonas en cada una de las cuales se seleccionó 10 plantas en competencia completa que fueron cosechadas a los 135 dds y pesadas (kg) para un total de 50 plantas. Se realizó la sumatoria de las productividades por planta y posteriormente se interpoló el rendimiento obtenido al valor de una hectárea (kg/ha) que para la densidad de siembra empleada corresponde a 27.777 plantas/ha.

Para determinar los componentes de rendimiento, se realizó una última lectura al momento de la cosecha que contempló la extracción de 10 plantas en las que se calculó el peso en gramos de la totalidad de tubérculos cosechados. Asimismo para determinar los componentes de rendimiento se tomó como valor de rendimiento la suma de productividades de 10 plantas extraídas en la última evaluación, además se tuvo en cuenta los siguientes parámetros como variables que contribuyen al rendimiento.

1.5.4.2 Numero de tallos. Se tomó el valor final resultante de la medición de número de tallos descrita en crecimiento. Se utilizó diez plantas.

1.5.4.3 Area foliar. En el momento de la cosecha, se tomaron diez plantas seleccionadas al azar, posteriormente se cosecharon y se calculó el área foliar de cada una de las mismas.

1.5.4.4 Tamaño de tubérculos. Al momento de la cosecha, en cada una de las 10 plantas seleccionadas se determinó el diámetro ecuatorial de tubérculos promedio por planta.

1.5.5 Clasificación de los tubérculos. Para la evaluación de ésta variable se tomaron los tubérculos de 10 plantas, determinando su diámetro con un pie de rey graduado en centímetros. Se realizó la clasificación de los tubérculos, de acuerdo a la escala de FEDEPAPA (2007), para tamaño de tubérculos en papa criolla, según el diámetro transversal en milímetros (mm), la escala es la siguiente: muy grande: mayor de 50; grande (1^a): entre 40 y 49; mediano (2^a): entre 30 y 39; pequeño (3^a): entre 20 y 29; muy pequeño: menor de 20

1.6 Análisis estadístico. Los modelos de regresión se seleccionaron con base en el valor de r (coeficiente de correlación), para cada una de las variables de tipo fisiológico analizadas se utilizó el Software STATGRAFICS Plus 5.0[®]. Además para evaluar los componentes de rendimiento del cultivo se realizó un análisis de sendero con el Software INFOSTAT[®].

2. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

2.1 Fenología

Una vez realizada la siembra, se observó el momento en que los primeros tallos originados del tubérculo semilla emergieron sobre la superficie del suelo y se determinó el tiempo de emergencia, el cual se presentó a los 19 dds con un porcentaje de 56.3 % (Cuadro 1.), lo cual demuestra la mayor precocidad de la papa criolla con respecto a la papa guata *S. tuberosum*, la cual en condiciones normales de cultivo en Colombia presenta la emergencia entre los 25 y 30 dds (FEDEPAPA, 2007). En éste periodo se observó la formación de las primeras raíces y de brotes, que seguidamente en su extremo apical dieron origen a las

primeras hojas y representan estructuras de tallos. Paralelamente al desarrollo de los brotes se presentó la formación de las hojas, desde los primordios foliares que se empezaron a observar a los 15 dds, hasta el desarrollo de hojas completas que se presentaron a los 30 dds (Cuadro 1).

En *S. tuberosum*, la formación de estolones y tubérculos se presenta entre los 50 y 95 dds; por el contrario *S. phureja* presenta un desarrollo vegetativo rápido, donde la tuberización comienza de manera temprana (FEDEPAPA, 2007), lo cual se puede confirmar en los resultados de éste estudio donde la formación de estolones se presentó entre los 30 y 45 dds y el inicio de tuberización se presentó a los 45 dds (Cuadro 1.), etapa que se determinó al observar el ensanchamiento de la punta de los estolones. Pozo. (1997) presenta estudios sobre la influencia del ácido giberélico en la tuberización, afirmando que la excesiva presencia de éste actúa como supresor de la tuberización y las bajas concentraciones facilitan la tuberización; sin embargo señala que la tuberización se asocia más a la presencia que a la ausencia de éste compuesto. Así mismo afirma que un alta fertilización nitrogenada induce el incremento de ácido giberélico y el ácido abscísico disminuye. Por tanto se propone un balance entre una sustancia supresora y otra promotora.

La aparición de los primeros botones florales del tallo principal se presentó a los 57 dds, donde se encontró un 27.23 % de plantas con éstas características, a los 65 dds se observaron las primeras flores abiertas. La aparición de las primeras bayas se presentó a los 90 dds (Cuadro 1.).

Entre los 120 y 135 dds (Cuadro 1.) se presentó la madurez fisiológica del cultivo, ya que el incremento de materia seca fue mínimo. A los 135 dds se cosechó (Cuadro 1.) debido a que la madurez fisiológica del cultivo se había alcanzado, además la piel de los tubérculos fue firme, no removible, y se desprendieron fácilmente del estolón. FEDEPAPA (2007) reportó que en *S. tuberosum* la madurez fisiológica ocurre entre los 155 y 170 dds, en éste periodo cesa la emisión de nuevas hojas y ramas, lo cual se manifiesta en la senescencia de la parte aérea de la planta cuando los tallos declinan, se postran sobre el suelo y finalmente

mueren; por el contrario en *S. phureja* la parte aérea de la planta normalmente permanece verde hasta la madurez comercial.

Cuadro 1. Estados fenológicos de papa criolla (*S. phureja* Juz et Buk.) Var. Colombia

VARIABLE	DDS
EMERGENCIA	19
APARICION DE PRIMORDIOS FOLIARES	15
DESARROLLO DE HOJAS COMPLETAS	30
FORMACION DE TUBÉRCULOS	45
APARICIÓN DEL ORGANO FLORAL	57
FLORACION	65
APARICIÓN DE FRUTOS.	90
COSECHA	135

2.2 Crecimiento

El análisis de regresión, que confrontó diferentes variables de crecimiento en función del tiempo, se ajustó a ecuaciones polinómicas que expresan el comportamiento de cada una de las variables evaluadas con respecto a la variable independiente (tiempo).

2.2.1 Área foliar. Esta variable mostró el comportamiento de la superficie fotosintetizante del cultivo en sus diferentes etapas de desarrollo, llegando a alcanzar una superficie de 8426.97 cm² a los 120 dds. El incremento de área foliar en función del tiempo se ajustó significativamente a una ecuación polinomial de cuarto grado; la Figura 1, describe el comportamiento de área foliar con el pasar del tiempo, indicando que la época de mayor producción de área foliar se presentó entre los 60 y 120 dds, presentando sincronía con la época en que el tamaño de tubérculos mostró una tendencia hacia la estabilización junto con el máximo valor de peso seco. Lo anterior coincide con la descripción de Clavijo, J. (1989), en cuanto a que la ganancia de peso seco de la planta incrementa conforme aumente la superficie de intercepción es decir aumente el área foliar y por ende la fotosíntesis.

2.2.2 Altura. La Figura 2, describe el comportamiento de la altura presentada en el ciclo del cultivo se ajustó a un modelo polinómico grado tres, indicando que los incrementos en la altura de plantas se presentaron hasta los 120 dds, alcanzando una altura de 65 cm. Este resultado es cercano al reportado por el Grupo de Investigación en Papa. (2006) que señala que la altura de plantas de papa criolla, alcanza 60 cm.

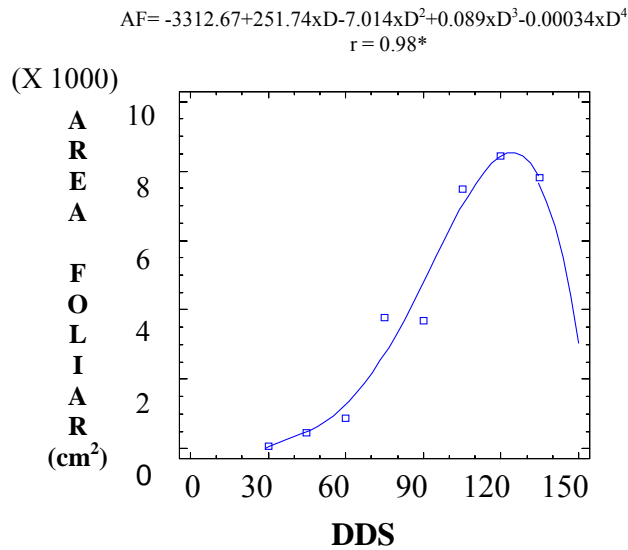


Figura 1. Variación Area foliar (cm²), con respecto al tiempo. D = días

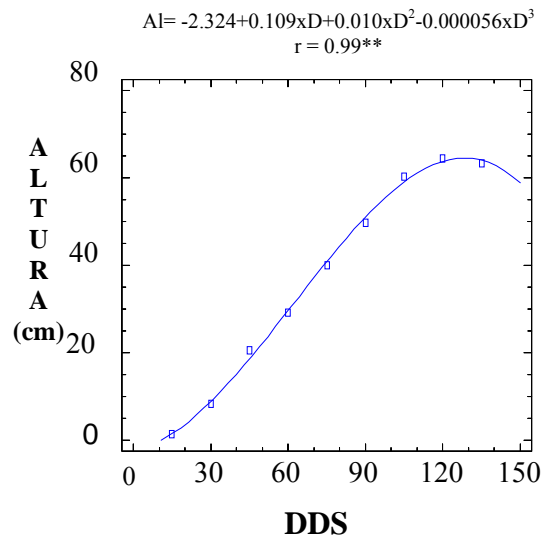


Figura 2. Variación de altura de plantas (cm), con respecto al tiempo. D = días

2.2.3 Número de tallos. El análisis gráfico (Figura 3) dado por un modelo polinómico de segundo grado, muestra un acelerado crecimiento de ésta variable a partir de la aparición de brotes entre los 15 dds a 75 dds, tiempo en que la tendencia a incrementar el número de tallos se redujo, estableciéndose que las estructuras de soporte del área foliar se encontraron en su máximo valor a 75 dds. El máximo número de tallos encontrados fue de 7.6 tallos/planta lo cual equivale a 21,11 tallos/m². Al respecto Pozo (1997), reportó datos que oscilan entre 13.6 a 22.3 tallos/m² encontrados a los 65 dds; los mismos autores encontraron diferencias entre el número de tallos/m² cuando varió la distancia de siembra.

2.2.4 Crecimiento de tubérculos. La Figura 4, ajustada a una ecuación polinómica de grado cuatro, muestra cambios significativos en el diámetro de tubérculos aproximadamente hasta los 120 dds, con un valor máximo de 3.25 cm. Pozo. (1997), afirma que el tamaño de tubérculos está determinado por características como duración del periodo de crecimiento de la planta, crecimiento de tubérculos por día, número de tallos principales y número de tubérculos por tallo. Por tanto se puede afirmar que los datos encontrados en el presente estudio se deben a condiciones de tipo genético, ambiental y de manejo del cultivo.

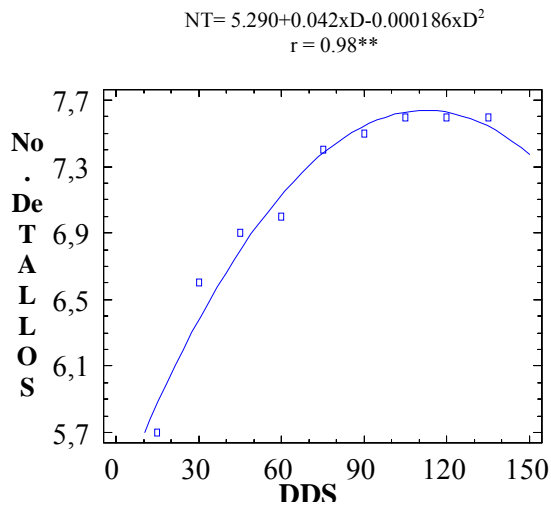


Figura 3. Variación del número de tallos/planta, con respecto al tiempo
D = días

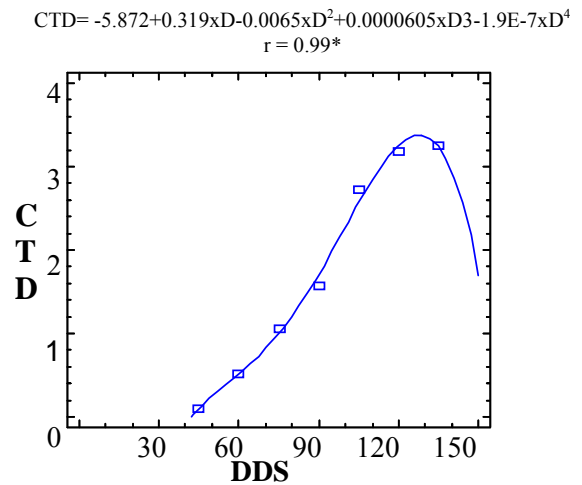


Figura 4. Variación del crecimiento de tubérculos (cm), con respecto al tiempo
D = días

2.2.5 Materia seca. El máximo peso seco/planta (217.96 g) se alcanzó a los 120 dds. La Figura 5, dada por una ecuación polinómica de cuarto grado describe un modelo que se ajusta al comportamiento biológico observado desde los 15 dds hasta los 135 dds; se observa una primera fase exponencial o inicial, una fase logarítmica y una fase de senilidad. Quispe, *et al.* (1997), reportan datos por metro cuadrado de 1400 gr de peso seco en *S. tuberosum ssp. andigena* sembrada a distancias de 0.3 por 0.7 m, presentando curvas de crecimiento similar a la observada en éste estudio.

2.2.6 Longitud máxima radical

En cuanto al análisis de regresión de la variable Longitud máxima radical, se encontró un alto coeficiente de determinación al ajustar los datos a un modelo polinómico de segundo grado. En la Figura 6. se observa cómo la longitud máxima de raíces fue creciendo con el pasar del tiempo hasta llegar a un punto ubicado aproximadamente a los 60 dds donde el crecimiento de raíces mostró una tendencia estable conforme el paso del tiempo. El comportamiento del crecimiento de raíces, coincide muy estrechamente con la afirmación de Krarup y Konar (1997), en el sentido de que el crecimiento de raíces de papa criolla,

que son de origen adventicio, presentan un rápido crecimiento en los primeros estados de desarrollo de la planta hasta el momento en que inicia la formación de tubérculos.

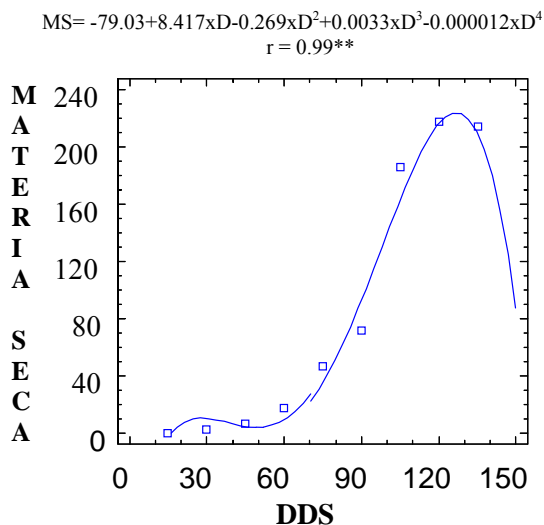


Figura 5. Variación materia seca (g), con respecto al tiempo D = días

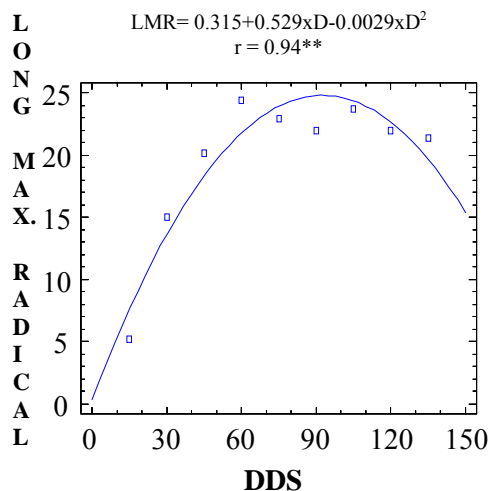


Figura 6. Variación long. máxima radical (cm) con respecto al tiempo D = días

2.3 Índices de crecimiento:

2.3.1 Índice de área foliar (IAF). El IAF, alcanza un valor máximo a los 120 dds de 2.34, lo que significa que el área foliar/planta ocupa 2.34 veces el área de suelo ocupada por ella. Se describió el comportamiento del IAF con un modelo polinómico de cuarto grado. La Figura 7, presentó una tendencia positiva de la variable hasta los 120 dds, tiempo a partir del cual se observó un decrecimiento. Hay y Walker (1989), reportaron valores de IAF que van desde tres hasta ocho en distintas variedades de papa en Inglaterra, enfatizando la necesidad de evaluar en diferentes localidades y años, puesto que el área foliar se ve afectada por factores ambientales y sanitarios. Por su parte Quispe, *et al.* (1997), reportaron un máximo IAF de 4.5 para *S. tuberosum ssp. andigena* sembrada a distancias de 0.3 por 0.7 m.

2.3.2 Tasa de asimilación neta TAN. La medida de ganancia quincenal de peso seco por superficie de área foliar, representa la eficiencia fotosintética del cultivo, la cual no mostró una tendencia definida debido a que toda variación en el ambiente puede inducir cambios

en ésta variable. Los valores de TAN obtenidos presentan los máximos valores entre los 90 y 105 dds (6.18×10^{-4}); posteriormente se presentó un marcado decrecimiento entre los 105 a 135 dds, llegando a una TAN de $-1.2 \times 10^{-6} \text{ g/cm}^2 \times 15 \text{ días}$.

En la Figura 8, se indica la fluctuación de la TAN en función del tiempo, observándose que el primer valor evaluado a los 45 dds inicia en un punto alto de la gráfica y luego decrece hasta los 90 dds; éste comportamiento obedece a que cuando las plantas son pequeñas, la mayoría de las hojas a más de su juventud, están expuestas a la luz solar directa expresando mayor eficiencia fotosintética; a medida que el cultivo crece y el índice de área foliar se incrementa, cada vez más hojas comienzan a quedar bajo la sombra producida por las hojas superiores causando una disminución de la TAN; además, las hojas viejas en la parte inferior de la planta, tienen una baja tasa de asimilación de CO_2 y aportan pocos asimilados hacia otras partes de la planta, (Gardner *et al* . 1985).

Entre los 90 y 105 dds se observó el máximo valor de la TAN que pudo ser alcanzado debido a un incremento significativo de la radiación solar o al mejoramiento de condiciones ambientales de cultivo durante éste periodo de evaluación con respecto al resto de la temporada, ya que como lo afirman Gardner *et al* (1985), la asimilación del CO_2 resulta de la absorción de energía solar.

2.3.3 Tasa de crecimiento del cultivo (TCC). En la Figura 9, puede observarse el comportamiento de la TCC que entre los 90 y 105 dds sufre el cambio mas significativo observado en el ciclo del cultivo, alcanzando el mayor valor ($15.83 \text{ g/cm}^2 \times 15 \text{ días}$) a los 90 dds, punto a partir del cual la TCC presentó decrecimiento acelerado, llegando a $-0.48 \text{ gr/cm}^2 \times 15 \text{ días}$. Este comportamiento se puede evidenciar en la Figura 5, donde se observa que el periodo en el cual se presentó mayor incremento de materia seca coincide con el periodo de mayor incremento que sufrió la TCC; esta evaluación concuerda con lo encontrado por Quispe *et al* (1997), que en evaluaciones de crecimiento de tubérculos andinos observaron un comportamiento similar en la relación entre la TCC y la acumulación de materia seca.

2.3.4 Tasa de crecimiento relativo (TCR). El modelo matemático que describe el comportamiento de la TCR se ajusta a una función polinómica de grado tres. Como se observa en la Figura 10, el mayor valor de TCR se encontró entre los 15 y los 30 dds con 6.6×10^{-2} g/ms x 15 días y el valor final fue el menor con -4.46×10^{-4} g/ms x 15 días. Se observa una curva inversamente proporcional al tiempo, lo cual indica que la mayor TCR se presentó en las épocas de menor edad del cultivo y que fue disminuyendo conforme los tejidos de las plantas alcanzaron su madurez. Este comportamiento coincide con la afirmación de Marín, (1989), quien al igual que Blackman (1968), afirman que los cambios temporales en la TCR, son mayores durante las fases vegetativas tempranas de las plantas y disminuyen conforme se alcanza la madurez y las hojas llegan a la senescencia.

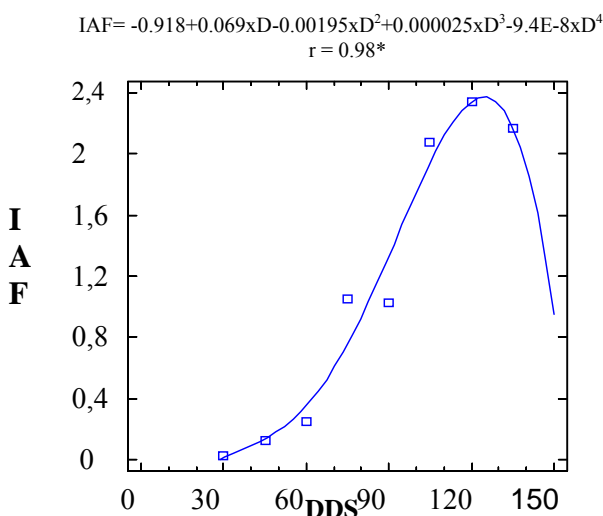


Figura 7. Variación de IAF, con respecto al tiempo. D = días

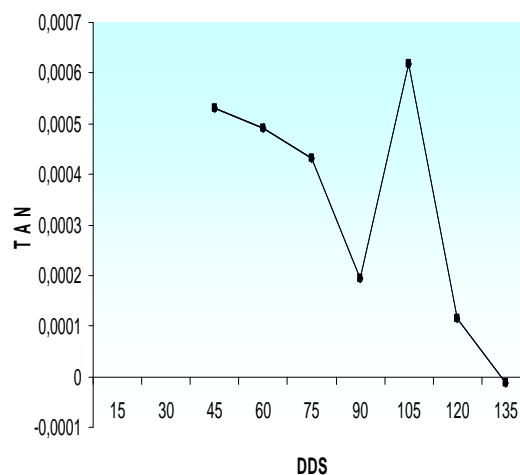


Figura 8. Variación de la TAN g/cm²foliarx15 días, con respecto al tiempo.

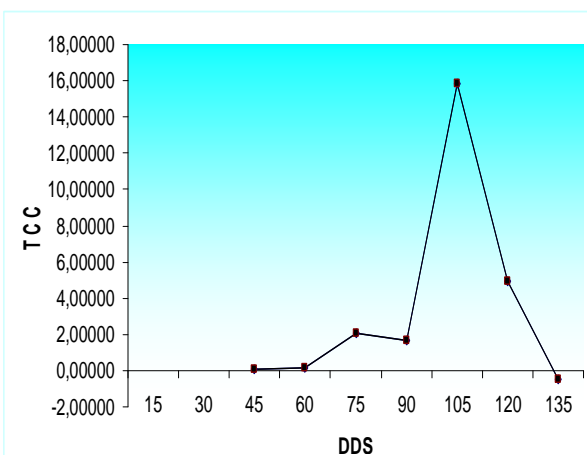


Figura 9. Variación de la TCC g/cm²suelox15 días, con respecto al tiempo.

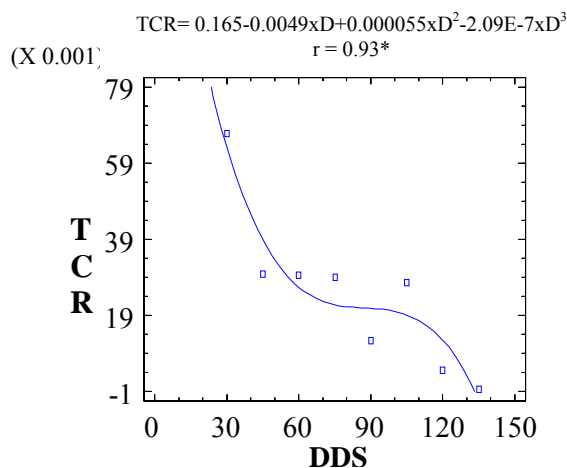


Figura 10. Variación de TCR (gr/ms x 15 días).D = días

2.3.5 Índice de cosecha IC. Producto de la relación entre el rendimiento económico y rendimiento biológico se obtuvo un valor de 0.51, lo que significa que por cada kilo de rendimiento fotosintético neto, 510 g correspondieron a peso seco de tubérculos. Según lo afirmado por Contreras (2005), en zonas tropicales el valor de IC es cercano a 0.75 y puede cambiar entre cultivares y condiciones de crecimiento. Conforme a lo observado se puede afirmar que se presentó un alto rendimiento biológico, que redujo el índice de cosecha. Garate y Bonilla (2000), consideran que un alto índice biológico afecta negativamente el índice de cosecha. Igualmente a mayor número de tubérculos por planta se presentó menor tamaño y peso promedio, posiblemente ocasionados por la competitividad de los tubérculos en la relación fuente – vertedero.

2.4 Componentes de rendimiento.

2.4.1 Rendimiento. En la cosecha se obtuvo un rendimiento de 13327.99 kg/ha (13 ton/ha). SIPSA 2007, reporta rendimientos por hectárea para los departamentos de Cauca y Nariño de 10 ton/ha. Las diferencias en rendimiento afirma Contreras (2005) se presentan debido a que la producción de cualquier cultivo es el resultado del proceso fotosíntesis-respiración, ambos procesos influenciados por factores ecológicos y fisiología de la planta, por tanto es común encontrar diferencias de rendimientos entre localidades.

2.4.2 Análisis de componentes de rendimiento

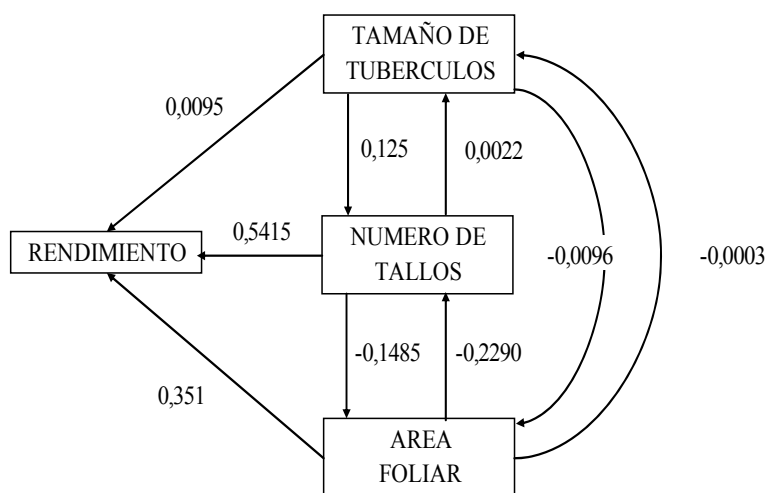


Figura 11. Análisis de sendero para rendimiento

El efecto total del tamaño de tubérculos sobre el rendimiento fue de 0.0114, de donde el 0.0095 correspondió al efecto directo del tamaño de tubérculos, los efectos indirectos totales fueron de 0.0019 (relación número de tallos y área foliar) (Cuadro 2). El efecto total del número de tallos sobre el rendimiento fue de 0.43, de donde el -0.5415 correspondió al efecto directo del número de tallos, los efectos indirectos totales (relación tamaño de tubérculos y área foliar) fueron de -0.104 (Cuadro 3). El efecto total del área foliar sobre el rendimiento fue de 0.1929, de donde el 0.351 correspondió al efecto directo del área foliar, los efectos indirectos totales (relación tamaño de tubérculos y número de tallos) fueron de -0.1581 (Cuadro 4).

Cuadro 2. Efectos directos-indirectos del número de tubérculos sobre el Rendimiento.

Tamaño de tubérculos y rendimiento	Valor
Efecto directo del tamaño de tubérculos	0,0095
Efecto indirecto via número de tallos	0,0022
Efecto indirecto via área foliar	-0,0003
Efectos indirectos totales	0,0019
Efecto total	0,0114

Cuadro 3. Efectos directos-indirectos del número de tallos sobre el Rendimiento.

Número de tallos y rendimiento	Valor
Efecto directo del número de tallos	0,5415
Efecto indirecto via tamaño de tubérculos	0,125
Efecto indirecto via área foliar	-0,229
Efectos indirectos totales	-0,104
Efecto total	0,4375

Cuadro 4. Efectos directos-indirectos del área foliar sobre el Rendimiento.

Area foliar y rendimiento	Valor
Efecto directo del área foliar	0,351
Efecto indirecto via tamaño de tubérculos	-0,0096
Efecto indirecto via número de tallos	-0,1485
Efectos indirectos totales	-0,1581
Efecto total	0,1929

El análisis de sendero de los componentes de rendimiento mostró que el número de tallos es la variable que mas incide en el rendimiento, presentando el mayor efecto total (0.4375). Igualmente el área foliar hace un aporte importante al incremento del rendimiento con un efecto total de 0.1929, por su parte la variable tamaño de tubérculos hace un aporte muy bajo al rendimiento con un efecto total de 0.0114. Ñustez (2002), señala que el número de

tallos y por ende el área foliar están estrechamente ligados con el rendimiento, dado que éstos se relacionan con las tasas de fotosíntesis y de translocación de asimilados para la formación y llenado de tubérculos. Igualmente Pozo. (1997) señala que el número de tallos principales determina la cantidad, tamaño y peso de tubérculos, debido a que cada planta de papa que proviene de un tubérculo consiste en un conjunto de tallos, cada uno de los cuales forma raíces estolones y tubérculos. Además cada tallo crece y se comporta como si fuese una planta individual. Por tanto, la verdadera densidad del cultivo de papa es el resultado de la densidad de plantas multiplicado por el número de tallos. A mayor número de tallos por unidad de área, mayor rendimiento.

2.5 Clasificación de tubérculos. El cuadro 5 relaciona la cantidad y el porcentaje de tubérculos organizados por categorías que componen el total de tubérculos cosechados; en esta relación se apreció que el mayor porcentaje de acuerdo al tamaño de tubérculos lo ocupa la categoría muy pequeño con 28.72 %, seguida de la categoría mediano (2A) con 21.8 %. La categoría de tubérculos muy grande ocupó el mas bajo porcentaje con 12 %. En cuanto a algunos indicadores comerciales de papa criolla en el plano internacional países como Japón, Estados Unidos, Rusia, España, Corea del Sur y Venezuela, importan papa criolla preparada congelada (C.A. 20.04.10.), cuyo tamaño oscila entre 25 y 35 mm de diámetro (PROEXPORT Colombia, 2008). Tamaños que se ubican entre las categorías 2A y 3A.

Cuadro 5. Número de tubérculos por planta y clasificación de los tubérculos

Clasificación tuberculos	Promedio No. Tuberculos/Pta	Porcentaje promedio
Muy grande >50 mm	3,3	12
Grande (1A) 40 a 49 mm	4,9	17,82
Mediano(2A) 30 a 39 mm	6	21,82
Pequeño(3A) 20 a 29 mm	5,6	19,64
Muy pequeño < 20 mm	7,9	28,73
Total	27,7	100

3. CONCLUSIONES

La emergencia del cultivo se presentó a los 19 dds; la formación de tubérculos inició a los 45 dds, poco antes de la emisión de los primeros botones florales, que aparecieron a los 57 dds; la formación de frutos se presentó a los 90 dds y la cosecha a los 135 dds.

El mayor valor de acumulación de materia seca (217.96 g), así como los mayores valores para AF (8426.97 cm²), IAF (2.34), TAN (6.18*10⁻⁴ g/cm²*15días) y TCC (15.83 g/cm²*15días), se presentaron entre los 60 y los 120 días después de la siembra; éstas variables se ajustaron a modelos polinómicos. En cuanto el IC se encontró un valor de 0.51 que indica que se presentó un alto rendimiento biológico.

El 21.8% de los tubérculos cosechados correspondieron a la categoría mediano (2^a); el 28.7% lo ocupó la categoría muy pequeño y la categoría de tubérculos muy grande ocupó el más bajo porcentaje con 12%.

La variable que más aportó en el rendimiento de papa criolla variedad Colombia fue el número de tallos/planta con un efecto total según el análisis de sendero de 0.4375.

4. BIBLIOGRAFIA

ASCENCIO, J. 1972. Análisis de crecimiento y eficiencia fotosintética del frijol variedad Turrialba 4, cultivado en solución nutritiva. En: Seminario de la Sociedad Colombiana de Control de Malezas y Fisiología Vegetal XVII. Villavicencio, Colombia. 98p.

BLACKMAN, G. E. 1968. The application of the concepts of growth analysis to the assesment of productivity. In: F. E. Echardt (ed.): Functioning of Terrestrial Ecosystems at the Primary Production level. Unesco. Paris. p. 243-259

CEVIPAPA. 2005 Memorias "I Taller Nacional sobre suelos, fisiología y nutrición vegetal en el cultivo de la papa" Centro virtual de investigación de la cadena agroalimentaria de la papa Bogotá, Colombia. 103 p.

CEVIPAPA, 2000. Centro de desarrollo tecnológico de la cadena agroalimentaria de la papa. Papa Criolla. En: <http://www.agronet.gov.co>. 4p.; Consulta: abril 2008

CLAVIJO, J. 1989. Análisis de crecimiento en malezas. En: Revista COMALFI Sociedad Colombiana de Control de Malezas y Fisiología Vegetal. Vol. 16 No. 12-16. p 52-63.

COOMBS, J. 1988. Técnicas de fotosíntesis y bioproductividad. Ed. Futura S.A. México. Colegio de Posgraduados, Chapingo. p 258-266

CONTRERAS, A. 2005. Ecofisiología del rendimiento de la planta de papa. En: <http://www.argenpapa.com.ar>. 1p.; Consulta: septiembre 2008.

FEDEPAPA, 2007. Guía para el cultivo de la papa. Ed: Panamericana Formas e Impresos. 33p.

FEDEPAPA, 2007. Sistema de información geográfica (SIG).

GARDNER, F.P; BRENT, P. R y MITCHEL, R.L. 1985. Fijación de carbono por los cultivos. Carbon fixation by crop cano-pies. In: Physiology of Crop Plants. Iowa State University Press. Traducido por: J Chiesa, S.F.Luque y M.G. Cantarero. Cereales y Oleaginosas. (2000). p. 31-57.

GARATE, A e I, BONILLA. 2000. Nutrición mineral y producción vegetal. En: Fundamentos de Fisiología Vegetal. Azcon, B; J y M. Talón (eds). McGraw Hill. Madrid, España. p.113-130

GAWRONSKA, K.1989. Irradiance, growth I, American Potato Journal. Vol 66. p. 201-212.

GOMEZ, C; BUITRAGO, C; CANTE, M y HUERTAS, C. 1999. Ecofisiología de papa *Solanum tuberosum* utilizada para consumo fresco y para la industria. En: Revista COMALFI Sociedad Colombiana de Control de Malezas y Fisiología Vegetal. Vol. 26 No. 1-3. p. 42-55

GRUPO DE INVESTIGACIÓN EN PAPA. 2006. Universidad Nacional de Colombia. Facultad de Agronomía. Bogotá. Boletín divulgativo.

HAY, R. K.M. y WALKER, A. 1989. An introduction to the physiology of crop yield. Longman Scientific & Technical. New York. 292 p.

HUNT, R. 1978. Plant growth análisis, Studies in Biology. No 96 Edward Arnold. London. 78 p.

KRARUP, C. y P. KONAR. 1997. Biología y diversidad cultural. Pontificia Universidad Católica de Chile, Vicerrectoría Académica, Facultad de Agronomía, Santiago, Chile. 111p.

MARÍN, Ch. D. 1989. Análisis de crecimiento en *Canavalia ensiformis* (L.) DC. bajo condiciones de campo. En: Revista. Facultad de. Agronomia., Instituto de Botánica Agrícola, Facultad de Agronomía, UCV. Maracay AR. Venezuela. Vol. 15 No. 1. p. 1-16.

MINISTERIO DE AGRICULTURA Y DESARROLLO RURAL. 2006. I Censo Nacional del Cultivo de la Papa Departamento de Nariño. Resultados consolidados área, producción y rendimientos Año agrícola 2005. 55 p.

MINISTERIO DE AGRICULTURA Y DESARROLLO RURAL. 2006. Anuario Estadístico del Sector Agropecuario y Pesquero. Dirección de Política Sectorial Grupo Sistemas de Información. Bogotá, D. C. 315 p.

ÑUSTEZ L, C. A. 2002. Evaluación del efecto del tamaño del tubérculo semilla y de la densidad de siembra, sobre el crecimiento, desarrollo y producción en tres variedades de papa colombianas. Informe técnico. Universidad Nacional de Colombia. Facultad de Agronomía. Bogotá, Colombia. 15 p.

PEÑA, Luis Alberto. 2000. Fisiología y manejo de tubérculos – semilla de papa. CORPOICA C.I Obonuco. Boletín Divulgativo. 9 p.

POZO C, M. 1997. Tuberización, tamaño de la semilla y corte de tubérculos. Producción de Tubérculos-semillas de Papa Manual de Capacitación. Fascículo2.3. Centro Internacional de la Papa (CIP), 19 p.

PROEXPORT Colombia. 2008. Cifras comercio exterior. Exportaciones colombianas. En: <http://www.proexport.com.co>. 1p.; Consulta: septiembre 2008.

QUISPE, C., DEVAUX, A., GONZALEZ, S., TOURNEUX, C., HIJMANS, R. 1997. Evaluación Comparativa del Desarrollo y Crecimiento de Papa, Oca e Isaño en Cochabamba, Bolivia. En: Revista Latinoamericana de la Papa. Vol. 9 No.10. p.140-155

RADFORD, PJ. 1967. Growth analysis formulae-their use and abuse. Crop Science (USA) Vol 7 No. 3, p. 171-175

SISTEMA DE INFORMACIÓN DE PRECIOS DE INSUMOS Y FACTORES ASOCIADOS A LA PRODUCCIÓN, SIPSA. 2007. Costos de producción por hectárea Papa Criolla en Cauca y Nariño. Cálculos: Corporacion Colombia Internacional. En: <http://www.agronet.gov.co/www/htm3b/public/boletines/COSTOS/Hortalizas.1p.>; consulta: octubre 2008.