

ACUMULACIÓN Y DISTRIBUCIÓN DE MATERIA SECA DE CUATRO VARIEDADES DE PAPA (*Solanum tuberosum* L.) EN ZIPAQUIRÁ, CUNDINAMARCA (COLOMBIA)

DRY MATTER ALLOCATION AND PARTITIONING OF FOUR POTATO VARIETIES (*Solanum tuberosum* L.) IN ZIPAQUIRÁ, CUNDINAMARCA (COLOMBIA)

Carlos Eduardo Núñez López¹; Marcela Santos Castellanos² y Mariela Segura Abril³

Resumen. Esta investigación evaluó la acumulación y distribución de materia seca en los diferentes órganos de la planta de cuatro variedades de papa (*Solanum tuberosum* L.) en el municipio de Zipaquirá (Cundinamarca) uno de los mayores productores de papa en Colombia. Se evaluaron las variedades Betina, Pastusa Suprema y Esmeralda (desarrolladas por el programa de mejoramiento genético de papa de la Facultad de Agronomía de la Universidad Nacional de Colombia) y la variedad Diacol Capiro, que es una de las más sembradas en el país. Se determinó la materia seca de cada uno de los órganos de la planta por medio de muestreos destructivos de tres sitios de siembra al azar por variedad, realizados cada dos semanas durante el ciclo de cultivo. Se observaron diferencias en cuanto al comportamiento de acumulación de materia seca en hojas y tallos, siendo mayor para Pastusa Suprema a las 16 semanas después de emergencia (sde). Betina y Esmeralda acumularon la mayor parte de la materia seca de los tubérculos en la etapa final del ciclo de cultivo, entre las 16 y 18 sde, mientras que Diacol Capiro y Pastusa Suprema acumularon materia seca en estos órganos en forma progresiva a lo largo del ciclo de cultivo. La variedad Pastusa Suprema presentó el menor Índice de Cosecha con 72% siendo inferior a las variedades Diacol Capiro, Esmeralda y Betina. Debido a esta alta partición de materia seca hacia los tubérculos en la etapa final del ciclo, no se recomienda la práctica de "agobio" o "corte de rama", ya que puede disminuir el rendimiento en estas variedades.

Palabras claves: Fisiología, crecimiento, índice de cosecha, spp. andígena.

Abstract. This investigation evaluated the dry matter production and partitioning of four potato varieties (*Solanum tuberosum* L.) in the Zipaquirá town (Cundinamarca Department) one of the biggest production zones of potato in Colombia. Betina, Pastusa Suprema and Esmeralda (varieties developed by the program of genetic improvement of potato of the Faculty of Agronomy of the Universidad Nacional de Colombia) and Diacol Capiro variety (that is one of those more sowed in the country) were evaluated. The dry matter was determined at random of each one of the plant organs, samplings were taken of three sowing places. This procedure was carried out every two weeks during the crop cycle. Differences were observed regarding the behaviour of dry matter accumulation in leaves and stems, Pastusa Suprema presented the biggest accumulation in these organs in the 16 weeks after emergency (WAE). Betina and Esmeralda accumulated the main part of the tuber dry matter in the final stage of the crop cycle, between the 16 and 18 WAE, whereas Diacol Capiro and Pastusa Suprema accumulated dry matter in these organs in progressive form along the crop cycle. The Pastusa Suprema variety presented the smallest Harvest Index with 72% being inferior to the Diacol Capiro, Esmeralda and Betina varieties. Due to this high dry matter partition to the tubers in the final stage of crop cycle, does not recommended the agronomic practice of "branch cut", because it can reduce the yield in these varieties.

Key words: Physiology, growth, harvest index, spp. andígena.

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, dando como resultado un aumento cuantitativo del tamaño y peso de la planta. El desarrollo es la composición de eventos que causan cambios cualitativos en forma y función de la planta y, por ende, en la formación del producto (Krug, 1997). Dada la íntima relación crecimiento-diferenciación que se pone de manifiesto en el proceso de desarrollo en las plantas, ambos no pueden separarse bajo ninguna circunstancia, ya que su interacción unido a factores externos e internos son los que le propician (Echenagusía, 1999).

En el proceso de crecimiento y desarrollo, las plantas presentan partes contrastantes metabólicamente que son referidas como tejidos fuente y vertedero (Foyer y Paul, 2001). Los tejidos fuente corresponden a aquellos tejidos exportadores netos de asimilados, que son principalmente hojas verdes maduras, tallos verdes, vainas verdes de semillas, aunque no son solo tejidos fuente los tejidos fotosintéticos, sino también órganos de la planta como semillas, tubérculos, raíces, etc. Los tejidos vertedero son importadores netos de asimilados y consiste de órganos que crecen rápidamente tales como los meristemas y hojas inmaduras, y tejidos de almacenamiento como los tubérculos, semillas o raíces (Foyer y Paul, 2001). La

¹ Profesor Asociado. Universidad Nacional de Colombia, Sede Bogotá. Facultad de Agronomía. A.A. 14490, Bogotá, Colombia. <cenuztezl@unal.edu.co>

² Ingeniera Agrónoma. SYNGENTA. Carrera 7ª No. 113 – 43 Of. 1106, Bogotá, Colombia. <msantosc@gmail.com>

³ Profesional de Apoyo. Universidad Nacional de Colombia, Sede Bogotá. Facultad de Agronomía. A.A. 14490, Bogotá, Colombia. <seguraabril@gmail.com>

Recibido: Mayo 2 de 2008; Aceptado: Mayo 20 de 2009

Rev.Fac.Nal.Agr.Medellín 62(1): 4823-4834. 2009

potencia del vertedero o la demanda del vertedero se refieren a la habilidad de los órganos vertedero para atraer o acumular compuestos de carbono, en una planta de papa el vertedero de mayor interés es el tubérculo (Dwelle, 1990).

El metabolismo de la fuente y del vertedero, están estrechamente acoplados porque la información de disponibilidad de asimilados en cada órgano es percibida y usada para orquestar la expresión de genes. Esta coordinación es necesaria para evitar amplias fluctuaciones y desbalances entre el abastecimiento y la demanda. De esta forma, la capacidad del vertedero puede regular la actividad de la fuente (Foyer y Paul, 2001).

La asignación de asimilados es el resultado del crecimiento y desarrollo, los cuales son mutuamente dependientes y son difíciles de analizar en experimentos separados. Los tallos laterales, por ejemplo, no se desarrollan cuando hay una escasez de carbohidratos disponibles, en ese caso, el desarrollo es restringido por el crecimiento. Por otro lado, a menos que las condiciones apropiadas se presenten, la formación de tubérculos no se iniciará aún cuando la planta tenga suficientes asimilados disponibles para el crecimiento del tubérculo, caso en el que el crecimiento es restringido por el desarrollo (Kooman y Rabbinge, 1996). Además, la asignación de asimilados resulta de la interacción de condiciones climáticas, prácticas culturales y genotipo. Las variedades cultivadas exhiben una gran diversidad de patrones de asignación de asimilados. Las diferencias en asignación de asimilados en papa a menudo se relacionan con la precocidad, porque también se observan diferencias en la duración del ciclo de cultivo en campo (Van Heemst, 1986).

La asimilación de materia seca y su distribución dentro de la planta, son procesos importantes que determinan la productividad del cultivo. El estudio de los patrones de asignación de materia seca hacia las diferentes partes de la planta, la variabilidad de estos patrones entre cultivares y el efecto de las condiciones ambientales en el proceso, pueden ayudar a maximizar la productividad y a seleccionar cultivares para un propósito particular (Tekalign y Hammes, 2005a).

La presencia de órganos de la planta con una demanda neta por asimilados, puede influenciar fuertemente los patrones de producción y distribución

de materia seca (Gifford and Evans, 1981 citados por Tekalign y Hammes, 2005a). Además, hay informes que indican que la distribución de asimilados entre vertederos es principalmente regulada por los mismos vertederos (Marcelis, 1996). En experimentos previos se encontró que el crecimiento reproductivo restringe el crecimiento vegetativo y reduce el rendimiento y calidad del tubérculo (Tsegaw y Zelleke, 2002).

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

Jaleh Daie citado por Marquínez y Corchuelo (1998), indica que dos de los factores esenciales en el rendimiento agrícola son la tasa fotosintética y el índice de cosecha de los cultivos, señala que de los dos, el que probablemente tiene mayor potencial en términos de incremento de rendimientos, es el índice de cosecha y, en particular, la forma como ocurre la partición de asimilados en las plantas. De lo anterior se deduce la importancia de realizar estudios sobre la producción, asignación y distribución de asimilados en las variedades de papa utilizadas comercialmente en el país.

Este trabajo de investigación evaluó la acumulación y distribución de materia seca en los diferentes órganos de la planta de cuatro variedades de papa (*Solanum tuberosum* L.) en el municipio de Zipaquirá (Cundinamarca, Colombia) uno de los mayores productores de papa del país, ocupando el sexto lugar de área sembrada en el departamento con 2.691 hectáreas por año. Tres de las variedades utilizadas (Betina, Pastusa Suprema y Esmeralda) fueron desarrolladas por el programa de mejoramiento genético de papa de la Facultad de Agronomía de la Universidad Nacional de Colombia, Sede Bogotá.

MATERIALES Y MÉTODOS

El estudio se realizó en el año 2004 en el municipio de Zipaquirá ubicado en el departamento de

Cundinamarca (Colombia), a una altura de 2.580 msnm, Latitud Norte 5°0,133´ y Longitud Oeste 73°59,529´. Las variedades de papa utilizadas en el estudio fueron: Diacol Capiro, Betina, Pastusa Suprema y Esmeralda (Tabla 1).

Tabla 1. Características de las variedades de papa utilizadas en el estudio de acumulación y distribución de materia seca.

| Variedad | Forma tubérculo | Color Piel | Color Carne | Aptitud de consumo | Rendimiento (t · ha ⁻¹) | Respuesta a <i>P. infestans</i> * |
|-----------------|----------------------------------|---------------|----------------|---------------------|-------------------------------------|-----------------------------------|
| Pastusa Suprema | Redonda Aplanada | Pardo-Rosado | Crema | Fresco e Industrial | 35-40 | R |
| Betina | Redonda Aplanada | Amarillo-Ocre | Amarillo claro | Fresco | 40-45 | MR |
| Esmeralda | Redonda Aplanada | Rosada crema | Crema | Fresco e Industrial | 30-35 | MR |
| Diacol Capiro | Semiredonda Ligeramente Aplanada | Violeta Claro | Crema | Fresco e Industrial | 30 | S |

*R = Resistente, MR = Moderadamente Resistente, S = Susceptible. Fuente: Del Valle *et al.* (1999) y Núñez (2002, 2004).

Diseño experimental. El ensayo fue sembrado en un diseño de bloques completos al azar (BCA) con tres repeticiones, el tamaño de la unidad experimental (UE) fue de 40 m², con 1 metro de distancia entre surcos y 0,4 m entre plantas, para una densidad de 100 sitios de siembra por parcela (UE). Se realizó análisis de varianza y pruebas de comparación múltiple (Tukey) con un nivel de significancia del 0,05, usando el programa estadístico SAS V9.1.

Variables evaluadas. Se evaluó materia seca de hojas, tallos, estolones, tubérculos, flores y frutos, realizando muestreos destructivos quincenales (tres plantas por variedad). Con estos datos se realizaron las curvas de acumulación de materia seca y las figuras de distribución de materia seca por órganos.

Adicionalmente se evaluó el índice de cosecha (IC), que corresponde al porcentaje de rendimiento económico (tubérculos) con relación al rendimiento biológico (planta completa), en este caso se determinó por medio de la siguiente fórmula: $IC = [\text{Peso seco de tubérculos} / \text{Peso seco total de la planta (hojas, tallos, flores, frutos, estolones y tubérculos)}] \times 100$.

RESULTADOS

Acumulación de materia seca. Se encontraron diferencias entre las variedades en cuanto a los puntos de máximo crecimiento de los órganos de la planta (Tabla 2). Para observar con claridad estas

diferencias se compararon las curvas de acumulación de materia seca de hojas, tallos, tubérculos y total en cada una de las variedades.

Hojas. La mayor acumulación de materia seca de este órgano la presentó la variedad Pastusa Suprema con 176,1 g por planta (16 semanas después de emergencia -sde-), seguida por Diacol Capiro con 111,5 g por planta (14 sde) (Tabla 2). Las variedades Betina y Esmeralda mostraron su mayor acumulación en la semana 14 (Tabla 2). Este resultado evidencia que la variedad Pastusa Suprema fue la que presentó el mayor desarrollo de follaje o aparato fotosintético (Figura 1A).

Tallos. Las mayores acumulaciones de materia seca en este órgano se presentaron en las variedades Pastusa Suprema y Betina (16 sde - 112 sde), con 165,7 y 131,4 g por planta respectivamente (Tabla 2), mientras que las variedades Diacol Capiro y Esmeralda presentaron menores valores máximos en las semanas 12 y 14, con 105,87 y 76,10 g por planta, respectivamente. Esta respuesta se asocia con el menor tamaño de estas últimas variedades, frente a Pastusa Suprema y Betina (Figura 1B).

Tubérculos. Las curvas de acumulación de materia seca de este órgano fueron similares hasta las 14 sde en todas las variedades. Betina y Esmeralda permanecieron constantes en el peso seco de tubérculos entre las 14 y 16 sde, para luego

incrementarlo rápidamente y alcanzar en la semana 18, los máximos valores de materia seca en este órgano. Los menores valores en la semana 18, fueron obtenidos por las variedades Pastusa Suprema y

Diacol Capiro, con 446,23 y 418,1 g por planta (Figura 1C); sin embargo, no se presentaron diferencias significativas para esta variable entre las variedades estudiadas (Tabla 2).

Tabla 2. Valores promedio de acumulación de materia seca por órgano y variedad de papa, en las semanas 6, 12, 14, 16 y 18 después de emergencia (sde). Valores promedio con letras diferentes presentan diferencias significativas de acuerdo con la prueba del rango estudentizado de Tukey (HSD) ($\alpha=0,05$).

| SDE | Variedad | Valores Promedio | | | |
|-----|-----------------|------------------|----------|----------|----------|
| | | PSH* | PST* | PSTub* | PSTotal* |
| 6 | Diacol Capiro | 37,33 ab | 18,93 ab | 1,62 a | 62,22 a |
| | betina | 30,37 ab | 19,97 a | 0,01 a | 53,50 ab |
| | esmeralda | 23,47 b | 12,13 bc | 0,27 a | 40,27 b |
| | pastusa Suprema | 28,03 b | 11,40 c | 0,11 a | 40,60 b |
| 12 | Diacol Capiro | 96,40 ab | 105,87 a | 176,60 a | 384,13 a |
| | betina | 67,87 b | 93,57 a | 104,27 a | 270,53 a |
| | esmeralda | 67,97 b | 53,27 b | 192,47 a | 318,27 a |
| | pastusa Suprema | 116,37 a | 107,47 a | 139,70 a | 375,77 a |
| 14 | Diacol Capiro | 111,53 a | 82,10 a | 319,43 a | 520,57 a |
| | betina | 88,23 a | 113,53 a | 215,03 a | 425,17 a |
| | esmeralda | 87,03 a | 76,10 a | 281,37 a | 450,10 a |
| | pastusa Suprema | 127,23 a | 124,97 a | 224,80 a | 488,93 a |
| 16 | Diacol Capiro | 62,87 b | 60,60 b | 372,50 a | 500,27 b |
| | betina | 77,90 b | 131,40 a | 241,00 a | 455,10 b |
| | esmeralda | 49,77 b | 73,00 b | 291,23 a | 418,67 b |
| | pastusa Suprema | 176,10 a | 165,67 a | 374,57 a | 733,10 a |
| 18 | Diacol Capiro | 21,80 b | 48,40 b | 418,10 a | 491,70 a |
| | betina | 14,80 b | 101,67 a | 543,83 a | 662,30 a |
| | esmeralda | 44,80 a | 54,43 b | 515,40 a | 617,20 a |
| | pastusa Suprema | 49,70 a | 120,33 a | 446,23 a | 623,10 a |

*PSH: *Peso Seco de Hojas*. PST: *Peso Seco de Tallos*. PSTub: *Peso Seco de tubérculos*. PSTotal: *Peso Seco Total*.

Crecimiento total. Las variedades evaluadas presentaron un comportamiento similar hasta las 14 sde. Las curvas de acumulación de materia seca total de Betina, Esmeralda y Diacol Capiro entre las 14 y 16 sde, estuvieron por debajo de Pastusa Suprema, lo cual demuestra que esta última presenta un mayor desarrollo de follaje y acumulación de materia seca, frente a las otras variedades evaluadas (Tabla 2). Diacol Capiro detuvo su crecimiento a las 14 sde y, a las 18 sde presentó la menor acumulación de materia seca, con respecto a las otras variedades, con

491,7 g por planta. Situación diferente se observó en las variedades Betina y Esmeralda, las cuales entre las 16 y 18 sde, presentaron un incremento en la acumulación de materia seca total, superando el valor alcanzado por Pastusa Suprema, ello debido a la relación existente entre la materia seca total y el crecimiento de tubérculos, que para Betina y Esmeralda, fue muy alto en ese intervalo de tiempo. Los valores máximos presentados por las variedades evaluadas, estuvieron en un rango de 500 a 800 g por planta (Figura 1D).

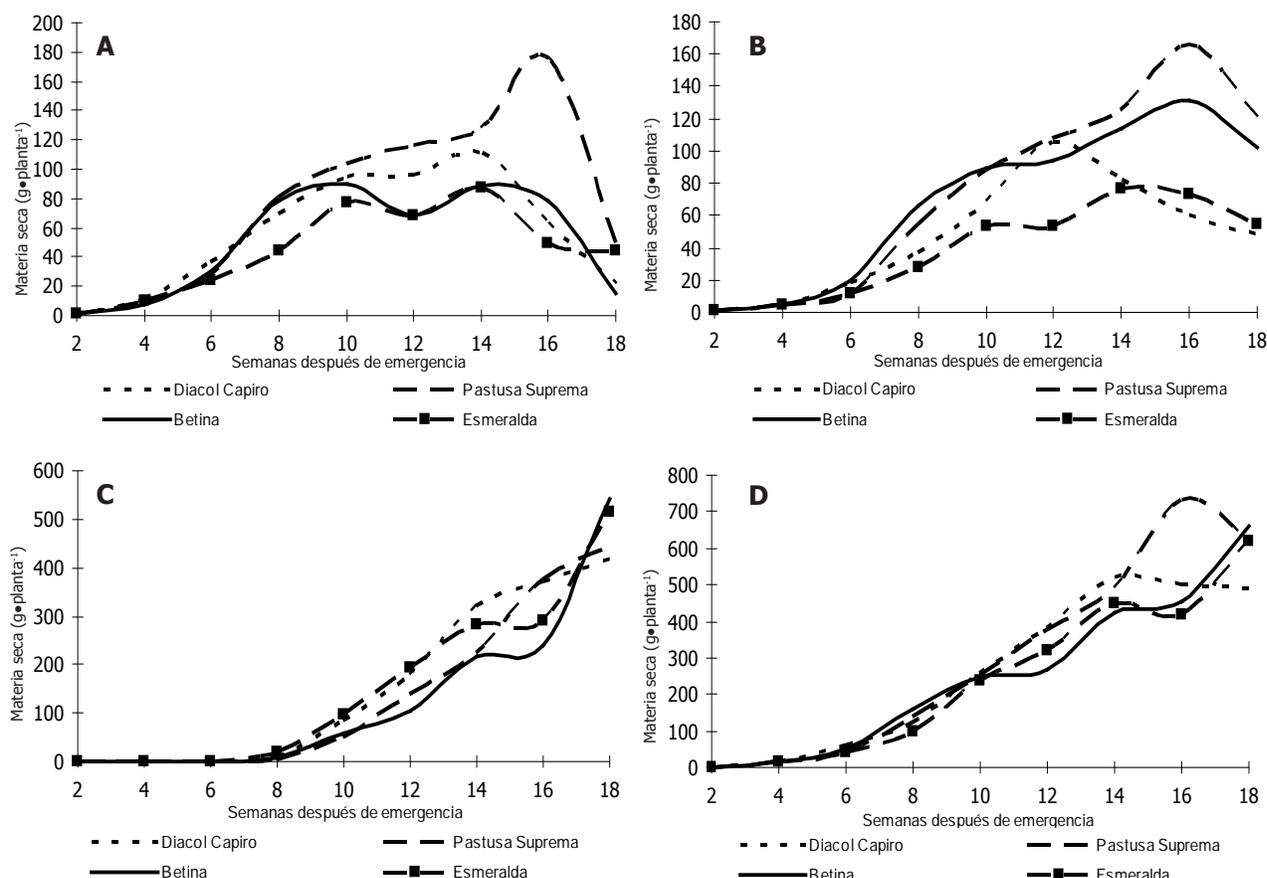


Figura 1. Curvas de acumulación de materia seca por planta en variedades de papa. A. Hojas, B. Tallos, C. Tubérculos, D. Total.

Distribución de materia seca. A lo largo del ciclo de cultivo se observó la distribución porcentual de la materia seca de la planta en los diferentes órganos: hojas (PSH), tallos (PST), estolones (PSE), tubérculos (PSTub), flores (PSF) y frutos (PSFr), para cada variedad. En la Tabla 3 se pueden observar los valores promedio de distribución de materia seca para hojas, tallos, estolones, tubérculos y flores en las semanas 6, 12, 14, 16 y 18 después de emergencia. Se registró el porcentaje de participación de tubérculos para determinar la evolución del Índice de Cosecha (IC) o Coeficiente de Migración de Materia Seca, que corresponde al porcentaje de rendimiento económico (tubérculos) con relación al rendimiento biológico (planta completa).

Diacol capiro. A las 2 sde los tallos contribuyeron con un 43% al peso seco total de la planta (el mayor porcentaje de este órgano en todo el ciclo) y a las 4 sde, se observó la mayor participación de hojas con un 68%. Entre las 4 y 8 sde el porcentaje de tallos, se

mantuvo estable en 30%, mientras el porcentaje de hojas comenzó a disminuir. Las flores sólo alcanzaron un porcentaje máximo de 0,5% a las 10 sde y los frutos un 0,1% a las 18 sde (Figura 2).

Los tubérculos aumentaron su porcentaje en la materia seca total de la planta en forma progresiva a partir de la semana 6; el mayor incremento tuvo lugar entre las semanas 8 y 10 con un 24%, pasando del 9% al 33% de participación de este órgano en la materia seca total de la planta. Desde la semana 10 hasta la 18 el incremento por semana en promedio fue de 6,5%, hasta alcanzar en la semana 18 un índice de cosecha del 85% (Figura 2).

Betina. El porcentaje de materia seca de tallos y de hojas en la materia seca total de la planta se mantuvo estable entre las semanas 2 y 6 después de emergencia con un 37% y 58% respectivamente. Entre las semanas 10 y 18, el porcentaje de hojas disminuyó en forma más rápida que el porcentaje

de tallos. Los estolones presentaron un porcentaje promedio de 5 entre las semanas 2 y 6, porcentaje alto para este órgano, en comparación con las otras variedades, ello debido a la mayor longitud de los estolones en esta variedad. Las flores sólo

alcanzaron una participación del 2% en la materia seca total en la semana 8 y no se presentaron frutos en el ciclo de cultivo de esta variedad, lo cual es una característica varietal asociada con su alta androesterilidad (Figura 3).

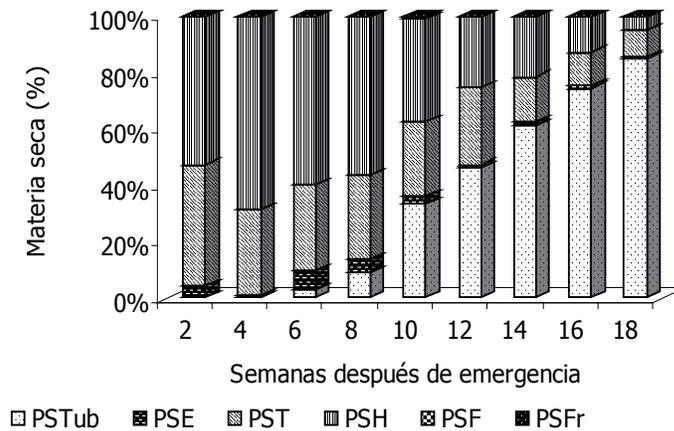


Figura 2. Distribución de la materia seca por planta en la variedad de papa Diacol Capiro. PSTub =Peso seco de tubérculos, PSE = Peso seco de estolones, PST = Peso seco de tallos, PSH = Peso seco de hojas, PSF = Peso seco de flores, PSFr = Peso seco de frutos.

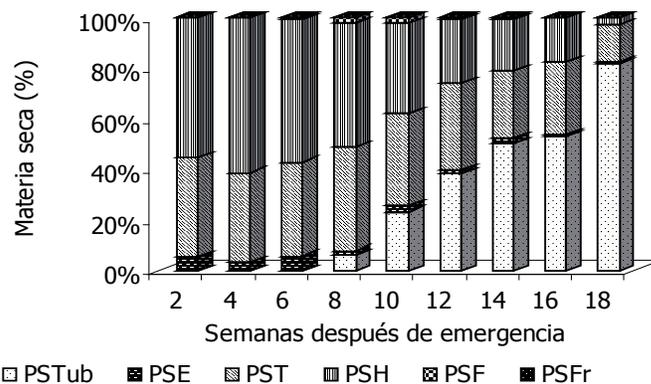


Figura 3. Distribución de la materia seca por planta en la variedad de papa Betina. PSTub =Peso seco de tubérculos, PSE = Peso seco de estolones, PST = Peso seco de tallos, PSH = Peso seco de hojas, PSF = Peso seco de flores, PSFr = Peso seco de frutos.

A partir de la semana 8, los tubérculos comenzaron a participar en el peso seco total de la planta, incrementando su porcentaje en un 7,5% por semana en el periodo comprendido entre las semanas 8 y 14, seguido por un periodo de bajo incremento (2%) entre las semanas 14 y 16, en donde el índice de cosecha alcanzó el 53%. Posteriormente, en la semana 18 el índice de cosecha de esta variedad llegó al 82% (Tabla 3), mostrando un incremento de casi el 30% entre las semanas 16 y 18, lo que indica que esta variedad presenta un llenado de tubérculo muy importante

en su fase final, razón por la cual en su manejo agronómico, no es recomendable la práctica de corte de rama, para evitar afectar significativamente el rendimiento de tubérculo (Figura 3).

Pastusa Suprema. El mayor porcentaje de peso seco de hojas durante el ciclo de cultivo en esta variedad se presentó en las semanas 4 y 6 después de emergencia con un promedio de 67% del peso seco total. Entre la semana 6 y 12 el porcentaje de hojas disminuyó de 57 al 30 y a partir de ese momento

hasta la semana 16, hojas y tallos presentaron porcentajes muy similares, y disminuyeron sus porcentajes a la misma velocidad. Los estolones de esta variedad representaron un porcentaje promedio de 2 entre las semanas 2 y 16, obteniendo un máximo de 4% en la semana 10. El máximo porcentaje de participación de flores fue de sólo el 0,3 en la semana 10, y al igual que Betina no presentó fructificación por razones similares. El peso seco de tubérculos comenzó su acumulación

en la semana 8 y desde este punto hasta la semana 12 la participación de este órgano se incrementó semanalmente en un 9%. Entre las semanas 12 y 14 sólo se incrementó en 8% la participación de tubérculos, entre las semanas 14 y 16 en 5% y entre las semanas 16 y 18 se incrementó 20% para alcanzar el 72% de la materia seca total de la planta (Tabla 3), valor considerable como para evitar la práctica de corte de rama, como en el caso de la variedad Betina (Figura 4).

Tabla 3. Valores promedio de distribución de materia seca por órgano y variedad de papa, en las semanas 6, 12, 14, 16 y 18 después de emergencia (SDE). Valores promedio con letras diferentes presentan diferencias significativas de acuerdo con la prueba del rango estudentizado de Tukey (HSD) ($\alpha=0,05$).

| SDE | Variedad | Valores Promedio | | | | |
|-----|-----------------|------------------|----------|----------|------------|-----------|
| | | PSH (%)* | PST (%)* | PSE (%)* | PSTub (%)* | PSF (%) * |
| 6 | Diacol Capiro | 60,24 b | 30,75 a | 6,72 a | 2,30 a | 0,00 a |
| | betina | 56,76 b | 37,16 a | 5,84 a | 0,02 a | 0,22 a |
| | esmeralda | 58,59 b | 30,11 a | 10,42 a | 0,57 a | 0,32 a |
| | pastusa Suprema | 69,40 a | 27,91 a | 2,43 a | 0,27 a | 0,00 a |
| 12 | Diacol Capiro | 25,11 ab | 28,01 a | 1,28 ab | 45,59 b | 0,01 a |
| | betina | 24,68 ab | 34,51 a | 1,10 b | 39,06 b | 0,65 a |
| | esmeralda | 21,26 b | 16,81 b | 0,96 b | 60,49 a | 0,48 a |
| | pastusa Suprema | 30,97 a | 28,60 a | 3,18 a | 37,17 b | 0,08 a |
| 14 | Diacol Capiro | 21,55 a | 15,82 b | 1,39 a | 61,23 a | 0,00 a |
| | betina | 20,83 a | 26,67 a | 1,66 a | 50,55 ab | 0,30 a |
| | esmeralda | 19,14 a | 16,62 b | 0,96 a | 62,99 a | 0,28 a |
| | pastusa Suprema | 26,37 a | 25,78 a | 2,37 a | 45,48 b | 0,00 a |
| 16 | Diacol Capiro | 12,84 b | 12,09 c | 0,82 b | 74,21 a | 0,00 b |
| | betina | 17,14 ab | 29,35 a | 1,09 ab | 52,42 b | 0,00 b |
| | esmeralda | 11,64 b | 17,02 bc | 1,00 b | 70,25 a | 0,06 a |
| | pastusa Suprema | 23,96 a | 22,59 ab | 2,24 a | 51,21 b | 0,00 b |
| 18 | Diacol Capiro | 4,33 ab | 9,76 bc | 0,55 a | 85,25 a | 0,00 a |
| | betina | 2,32 b | 16,26 ab | 0,40 a | 81,02 a | 0,00 a |
| | esmeralda | 7,22 a | 8,78 c | 0,41 a | 83,57 a | 0,00 a |
| | pastusa Suprema | 8,24 a | 19,32 a | 1,10 a | 71,34 b | 0,00 a |

*Porcentaje de materia seca distribuido en: %PSH = Hojas, %PST = Tallos, %PSE = Estolones, %PSTub = Tubérculos (Equivalente al Índice de Cosecha), %PSF = Flores.

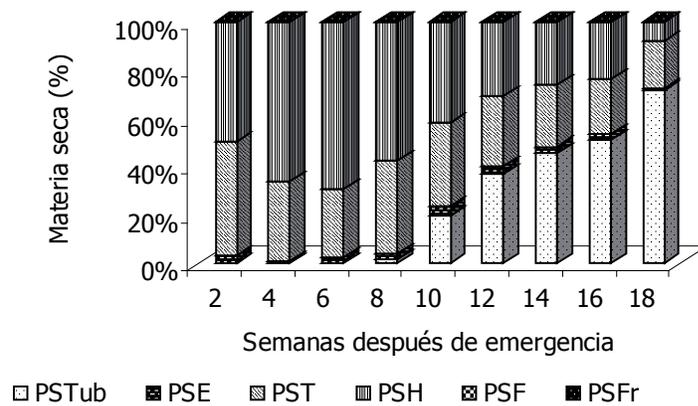


Figura 4. Distribución de la materia seca por planta en la variedad de papa Pastusa Suprema. PSTub =Peso seco de tubérculos, PSE = Peso seco de estolones, PST = Peso seco de tallos, PSH = Peso seco de hojas, PSF = Peso seco de flores, PSFr = Peso seco de frutos.

Esmeralda. En la semana 4 el peso seco de hojas de la planta representaba el 67,5%, a partir de este punto y hasta la semana 12 el porcentaje disminuyó en un 6% semanal hasta alcanzar 21,4%. El mayor porcentaje de tallos fue obtenido en la semana 2 con 34% y entre las semanas 2 y 14, el porcentaje de participación de tallos fue inferior al de hojas, debido a la menor ramificación de esta variedad. Los estolones de esta variedad, alcanzaron el máximo porcentaje en la semana 6 con un 10% y disminuyó en las 6 semanas siguientes hasta alcanzar un porcentaje de 1%. En esta variedad el máximo porcentaje de flores se obtuvo en la semana 10, con 2% y los frutos sólo alcanzaron un 0,03% en la semana 16 (Figura 5).

Se observó un periodo importante de llenado de los tubérculos entre las semanas 8 y 12, en las que aumentaron su participación en forma progresiva hasta alcanzar el 60% de la materia seca total en la semana 12. Al igual que en la variedad Betina se observó un periodo de bajo incremento en la participación de los tubérculos en la materia seca total, entre las semanas 12 y 14 (equivalente al 2%). El índice de cosecha alcanzado por esta variedad para la semana 18 fue del 83% (Tabla 3), mostrando un incremento del 21% entre las semanas 14 y 18, característica que tiene incidencia sobre la práctica agrícola de corte de rama, que como en el caso de Betina y Pastusa Suprema sería poco recomendable (Figura 5).

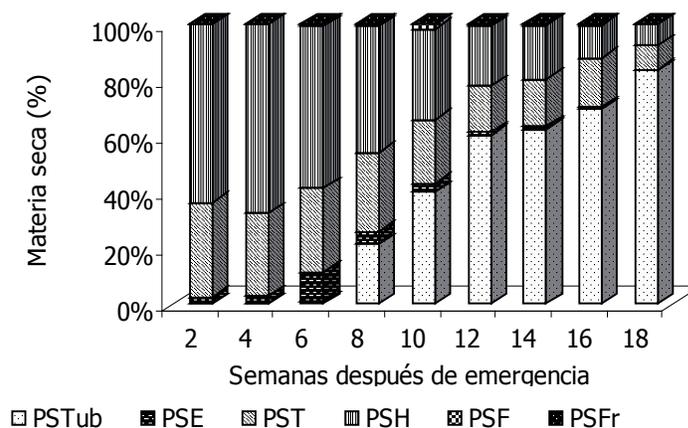


Figura 5. Distribución de la materia seca por planta en la variedad de papa Esmeralda. PSTub =Peso seco de tubérculos, PSE = Peso seco de estolones, PST = Peso seco de tallos, PSH = Peso seco de hojas, PSF = Peso seco de flores, PSFr = Peso seco de frutos.

DISCUSIÓN

En las cuatro variedades evaluadas se observaron diferencias significativas en la acumulación de materia seca de hojas y tallos (Tabla 2). La variedad Pastusa Suprema presentó la mayor acumulación de materia seca en hojas (176,10 g por planta), de esta forma fue la variedad con mayor desarrollo de follaje o aparato fotosintético (Figura 4). El tamaño de las variedades se reflejó en la acumulación de materia seca en tallos, ya que las variedades Pastusa Suprema y Betina, presentaron la mayor acumulación en la semana 16, mientras que las variedades Diacol Capiro y Esmeralda, presentaron menores valores máximos en las semanas 12 y 14 respectivamente. De esta forma los valores máximos obtenidos por Pastusa Suprema y Betina superan en aproximadamente 61% a los obtenidos por Diacol Capiro y Esmeralda (Figuras 2 a 5).

Las variedades Betina y Esmeralda acumularon la mayor parte de materia seca de tubérculos en las últimas semanas del ciclo, debido a esta característica fisiológica no es recomendable realizar la práctica de agobio de follaje o "corte de rama" en estas variedades, ya que puede traer como consecuencia una reducción en el rendimiento final de tubérculo de las mismas (Figuras 3 y 5).

También se observaron diferencias significativas entre las variedades en cuanto a la distribución porcentual de materia seca. El porcentaje de materia seca en hojas presentó los valores máximos en las primeras semanas y luego disminuyó a lo largo del ciclo de cultivo en las variedades evaluadas, en particular desde las semanas 8 y 10 después de emergencia, debido al proceso de llenado de tubérculos, es decir, a la partición de asimilados desde los tejidos fuente hacia los vertederos. En la variedad Betina, a diferencia de las restantes variedades, el porcentaje de materia seca de tallos, presentó valores más altos que los de hojas entre las semanas 10 y 16, lo que indica que en esta variedad existe una acumulación temporal importante de materia seca en los tallos, antes de ser enviada a los vertederos principales (tubérculos) (Figura 3).

Betina presentó los porcentajes más altos de materia seca de flores en la semana 8 después de emergencia, que se atribuyen a la abundante floración de esta variedad. Sin embargo, esta variedad y Pastusa Suprema no presentaron fructificación, condición relacionada con la androesterilidad de

estas variedades (Figuras 3 y 4). Solo Diacol Capiro presentó fructificación, aunque el máximo porcentaje de participación de este órgano fue muy bajo (0,12%) (Figura 2).

Al observar el incremento del porcentaje de materia seca de los tubérculos, se encontró que la partición de asimilados desde las hojas y tallos hacia los tubérculos se realizó en forma progresiva a lo largo del ciclo de cultivo en la variedad Diacol Capiro (Figura 2), mientras que Pastusa Suprema, Betina y Esmeralda presentaron periodos de bajo y alto incremento (Figuras 3, 4 y 5), se puede deducir que hay diferencias entre las variedades, en la potencia de demanda o habilidad de los tubérculos para atraer compuestos de carbono desde los órganos fuente. De esta forma, la magnitud de la potencia de demanda de los tubérculos, varía en el ciclo de desarrollo de cada una de las variedades, en especial por factores como la competencia entre los vertederos de la planta, que ocurre especialmente en las etapas fenológicas de desarrollo de órganos florales y frutos (en las variedades que los producen), de acuerdo con lo observado por Segura *et al.* (2006), donde la asignación de materia seca a órganos como los tubérculos se ve disminuida, hasta que estos logran incrementar su potencia de demanda.

En el trabajo de investigación sobre crecimiento en papa realizado por Gaitán y González (1999) en Mosquera (Cundinamarca) a una altitud de 2543 msnm con las variedades ICA Zipa, ICA Única, ICA Morita y Diacol Monserrate, se observó un rango de máxima acumulación de materia seca total por planta entre 180 g (ICA Morita) y 480 g (ICA Única), entre las semanas 12 y 14 después de emergencia. Estos valores máximos fueron inferiores a los valores máximos presentados por las variedades Betina, Esmeralda, Diacol Capiro y Pastusa Suprema, que estuvieron en un rango de 520 a 733 g por planta y se obtuvieron entre las semanas 14 y 18 después de emergencia, ello explicado seguramente por las diferencias del ciclo de crecimiento (ambiente) y los genotipos.

Rodríguez *et al.* (2003) realizaron el análisis de crecimiento en la variedad Parida Pastusa en condiciones de los municipios de Mosquera (Cundinamarca) a una altitud de 2540 msnm y de Soacha (Cundinamarca) a 3050 msnm, observando valores de acumulación máxima de materia seca total de 130 g aproximadamente en la localidad de

Mosquera y, de 140 g aproximadamente en la localidad de Soacha, valores inferiores a los presentados por las variedades evaluadas en este trabajo de investigación (Figura 1D). Estas diferencias en acumulación de materia seca pueden deberse a las diferencias en las condiciones ambientales en las que se desarrollaron los dos trabajos y demuestra la alta interacción de las variables fisiológicas de los cultivares de papa, con el ambiente de crecimiento.

Para la semana 18 después de emergencia las variedades evaluadas presentaron diferencias significativas en el Índice de Cosecha (IC). Diacol Capiro, Esmeralda y Betina fueron similares con IC de 85%, 83% y 82% respectivamente, y superiores a Pastusa Suprema que solo alcanzó el 72% de IC para esa semana (Tabla 3), variedad que de acuerdo con Segura *et al.* (2006) presenta mayor duración de la etapa fenológica de formación de tubérculo y mayor duración del ciclo de crecimiento (Figuras 2 a 5). Según el trabajo de Kooman y Rabbinge (1996), el proceso de asignación y partición de asimilados se puede relacionar con la precocidad de las variedades de papa; en el presente trabajo se pudo observar que aquellas variedades de ciclo más corto, Diacol Capiro, Esmeralda y Betina, realizan la partición de asimilados a los órganos vertedero con mayor velocidad que la variedad con un ciclo de mayor duración, Pastusa Suprema, lo que se convierte en un indicador de su precocidad en la localidad donde se desarrolló el ensayo.

Gaitán y González (1999) en el trabajo que realizaron en el Centro Agropecuario Marengo ubicado en Mosquera (Cundinamarca), observaron índices de cosecha (IC) en un rango de 32% y 57% (variedades ICA Morita e ICA Única, respectivamente) al final del ciclo de cultivo en la semana 16 después de emergencia. Con respecto a los valores de IC presentados en las variedades evaluadas en Zipaquirá (Figuras 2, 3, 4 y 5), los IC encontrados por Gaitán y González (1999) son inferiores, condición que se debe especialmente a la temporada seca en la que realizaron su estudio, que produjo un menor desarrollo de los tubérculos en esas variedades.

Condori *et al.* (2008) analizaron el crecimiento de diversos tubérculos andinos en condiciones de las localidades de Toralapa, Candelaria y Patacamaya en Bolivia; entre los materiales de papa que se incluyeron en el estudio se encuentran las especies *Solanum juzepczukii* variedad Luki, *S. tuberosum* ssp.

andigenum con la variedad Waycha y *S. tuberosum* ssp. *tuberosum* con la variedad Alpha. Dentro de los resultados más relevantes de este trabajo se encuentran los IC obtenidos para cada una de esas variedades, en donde el más alto IC (86%) se presentó en la variedad Alpha de la especie *S. tuberosum* ssp. *tuberosum*, mientras que en la variedad Waycha se observó un IC del 67%. En las variedades analizadas en el presente estudio que pertenecen a la ssp. *andigena*, se observaron IC mayores al 70%, incluso en el caso de Diacol Capiro que alcanzó un IC del 85% indicando una mayor eficiencia en la translocación de asimilados a los tubérculos.

CONCLUSIONES

La distribución de materia seca en la planta de papa, es un indicador claro de la dinámica de asignación de asimilados a cada uno de los órganos de la planta, que permitió para el caso particular de las variedades evaluadas, hallar diferencias relevantes en cuanto al comportamiento de acumulación de materia seca en hojas, tallos y tubérculos, siendo mayor para la parte aérea en el caso de Pastusa Suprema y encontrando una alta partición de asimilados hacia los tubérculos en la etapa final del ciclo de cultivo en las variedades Betina y Esmeralda.

Estos resultados presentan importantes implicaciones en el manejo agronómico del cultivo, entre las que se encuentra una alta supervisión del control de tizón tardío o gota (*Phytophthora infestans*) para la variedad susceptible Diacol Capiro, en el periodo de tuberización desde la semana 10 hasta la semana 18 después de emergencia, periodo en el cual se presentan incrementos progresivos en el porcentaje de materia seca total asignado a tubérculos que le permiten alcanzar el mayor índice de cosecha de las variedades evaluadas en el presente estudio.

Por otro lado, las variedades Betina y Esmeralda requieren un adecuado suministro hídrico especialmente en las etapas finales de desarrollo del cultivo, semanas 16 a 18 después de emergencia, en donde se presenta la mayor acumulación de materia seca e incremento en el peso total de los tubérculos, por tanto, es el momento del ciclo donde una adecuada disponibilidad hídrica permite asegurar el máximo rendimiento potencial de estas variedades. Además, cabe destacar que la práctica de "agobio" o "corte de rama" realizada comúnmente en las regiones productoras del país, en donde se busca acelerar la

maduración del tubérculo por medio de la aplicación de herbicidas de contacto o por corte del follaje semanas previas al cumplimiento del ciclo completo de cultivo, puede disminuir significativamente el rendimiento de estas variedades, razón por la que es una práctica no recomendada para realizarse dentro del manejo agronómico de su cultivo.

Para variedades como Pastusa Suprema que presentan tendencia a la asignación de materia seca a la parte aérea de la planta, deben formularse planes de fertilización guiados a incrementar el número de tubérculos y mejorar el llenado de los mismos, mientras que el incremento en el uso de Nitrógeno, puede desfavorecer la producción de tubérculo de esta variedad si se tiene en cuenta que es un elemento nutriente que favorece el desarrollo foliar de las plantas. En general la caracterización de estos parámetros fisiológicos de acumulación y distribución de materia seca, pueden permitir mejorar el manejo agronómico y probar el comportamiento de diferentes variedades bajo condiciones particulares de nutrición, estrés biótico y abiótico que se encuentran comúnmente en las regiones de cultivo, por lo cual se recomienda en próximos trabajos de investigación evaluar el comportamiento fisiológico de estas variedades en otras zonas de cultivo y con tratamientos que permitan definir criterios de manejo agronómico para cada una de ellas.

AGRADECIMIENTOS

Los autores del trabajo expresan sus agradecimientos a la División de Investigación de Bogotá (DIB) de la Universidad Nacional de Colombia por su apoyo en la financiación del presente trabajo. Al Doctor Germán Corchuelo por su valiosa asesoría en el área de Fisiología Vegetal y a la Ingeniera Yohana Rozo por su colaboración con la finca donde se realizó la investigación.

BIBLIOGRAFÍA

Condori, B., P. Mamani, R. Botello, F. Patiño, A. Devaux and J.F. Ledent. 2008. Agrophysiological characterisation and parametrisation of Andean tubers: Potato (*Solanum* sp.), oca (*Oxalis tuberosa*), isaño (*Tropaeolum tuberosum*) and papalisa (*Ullucus tuberosus*). European Journal of Agronomy 28(4): 526-540.

Del Valle, A., L. Luján y P.D. Porras. 1999. Variedades colombianas de papa. Revista Papa 19: 5-21.

Dwelle, R. 1990. Source/sink relationships during tuber growth. American Potato Journal 67(12): 829-833.

Echenagusía, R.A. 1999. Indicadores bioquímicos y tasas del crecimiento en la micropropagación *in vitro* del plátano. En: Universidad Agraria de La Habana. <http://www.isch.edu.cu/biblioteca/anuario1999/echenugosia.htm>; consulta: marzo 2005.

Foyer, C. and M. Paul. 2001. Source – Sink Relationships. 11 p. In: Encyclopedia of Life Sciences. Nature Publishing Group, United Kingdom.

Gaitán, A. y M. González. 1999. Análisis de crecimiento y desarrollo para cuatro variedades de papa (*Solanum tuberosum*) bajo condiciones de la Sabana de Bogotá. Trabajo de Grado Ingeniería Agronómica. Facultad de Agronomía. Universidad Nacional de Colombia. Bogotá. 82 p.

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

Krug, H. 1997. Environmental influences on development growth and yield. pp. 101-180. In: H.C. Wien (Ed.). The Physiology of Vegetable Crops. CABI Publishing, London. 662 p.

Marcelis, L.F.M. 1996. Sink strength as a determinant of dry matter partitioning in the whole plants. Journal of Experimental Botany 47: 1281-1291.

Marquínez, X. y G. Corchuelo. 1998. Metabolismo y asimilación de fotoasimilados en los cultivos. Revista Comalfi Vol. XXV 1-3: 59-80.

Nganga, S. 1982. Physiological basis of potato crop yield: principles. pp. 13 – 16. In: Nganga, S. and F. Shideler (Eds.). Potato Seed Production for Tropical Africa. International Potato Center.

Ñústez, C.E. 2002. Pruebas de evaluación agronómica para registro de nuevas variedades de papa resistentes a *Phytophthora infestans* en el departamento de Nariño. Informe Técnico. Facultad de Agronomía. Universidad Nacional de Colombia. Bogotá. 40 p.

Ñústez, C.E. 2004. Pruebas de evaluación agronómica para registro de nuevas variedades de papa resistentes a *Phytophthora infestans* en los departamentos de Cundinamarca, Boyacá y Antioquia. Informe Técnico.

Facultad de Agronomía. Universidad Nacional de Colombia. Bogotá. 80 p.

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

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

Tekalign, T. and P.S. Hammes. 2005a. Growth and productivity of potato as influenced by cultivar and reproductive growth I. Stomatal conductance, rate

of transpiration, net photosynthesis, and dry matter production and allocation. *Scientia Horticulturae* 105(1): 13–27.

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

Tsegaw, T. and A. Zelleke. 2002. Removal of reproductive growth increases yield and quality of potato (*Solanum tuberosum* L.). *Trop. Agric.* 79(2): 125–128.

Van Heemst, H.D.J. 1986. The distribution of dry matter during growth of a potato crop. *Potato Research* 29(1): 55–66.