



**Universidad de Matanzas
"Camilo Cienfuegos"
Facultad de Agronomía**

**TESIS PRESENTADA EN OPCION AL TITULO ACADEMICO DE MASTER EN
CIENCIAS AGRICOLAS**

**FORMACION DEL RENDIMIENTO EN EL CULTIVO DE LA
PAPA (*Solanum tuberosum* L.) Y SU ESTIMACION A PARTIR
DE DIFERENTES VARIABLES.**

Autor: Ing. Lilibeth Rodríguez Izquierdo

Octubre, 2011



**Universidad de Matanzas
"Camilo Cienfuegos"
Facultad de Agronomía**

**TESIS PRESENTADA EN OPCION AL TITULO ACADEMICO DE MASTER EN
CIENCIAS AGRICOLAS**

**FORMACION DEL RENDIMIENTO EN EL CULTIVO DE LA
PAPA (*Solanum tuberosum* L.) Y SU ESTIMACION A
PARTIR DE DIFERENTES VARIABLES.**

Autor: Ing. Lilibeth Rodríguez Izquierdo

Tutor: Dr. C. Eduardo Jerez Mompie

Octubre, 2011

Nota de Aceptación

Presidente del tribunal

Miembro del Tribunal

Miembro del Tribunal

Miembro del Tribunal

Miembro del Tribunal

Matanzas _____ ***de*** _____ ***del*** _____

“Año 53 de la Revolución”

Declaración de Autoridad

Yo, Ing. Lilibeth Rodríguez Izquierdo, declaro que soy la única autora del presente trabajo, por lo que autorizo a la Universidad de Matanzas “Camilo Cienfuegos” a que haga uso del mismo con el propósito que estime pertinente.

Firma

Agradecimientos

- ♥ *A Tony por amarme, por su confianza y apoyo en todos los momentos, gracias por enseñarme a crecer en la esperanza.*
- ♥ *A Jerecito, por ser un gran tutor y un mejor amigo, por su ayuda incondicional y su confianza, por enseñarme a crecer en el conocimiento, gracias mil porque sin tu ayuda no hubiera hecho posible este sueño.*
- ♥ *A toda mi familia por el amor y apoyo que me brindaron desde el principio, en especial a mi mamá, por educarme siempre en el deseo de aprender, por hacerme mejor persona.*
- ♥ *A Lilit por ser mi amiga incondicional, por su consejo y auxilio en todos los momentos, sobre todo los más difíciles.*
- ♥ *A mis queridos amigos del INCA: Roberqui, Dell Amico, Donaldó, Yanet, Yeny y Alex... en fin a todos los que allí hicieron posible este trabajo.*
- ♥ *A mis compañeros de trabajo, en especial a Olguita, Martica y Sonita que han sido siempre como mis segundas madres.*
- ♥ *A la Revolución y en especial a nuestro comandante Fidel por hacer posible el sueño de jóvenes investigadores como yo.*
- ♥ *A todos muchas gracias....*

“El científico no estudia la naturaleza porque sea útil; la estudia porque se deleita en ella, y se deleita en ella porque es hermosa. Si la naturaleza no fuera bella, no valdría la pena conocerla, y si no ameritara saber de ella, no valdría la pena vivir la vida.”

Henri Poincaré

Resumen

La investigación se desarrolló en la finca “Las Papas”, perteneciente al Instituto Nacional de Ciencias Agrícolas, en el período de enero-abril de los años 2010 y 2011, con el objetivo de evaluar algunas variables involucradas en el crecimiento y desarrollo de las plantas que permitieran explicar la formación y estimación del rendimiento en tres variedades de papa (*Solanum tuberosum* L.): Call White, Spunta y Santana. Se estableció un diseño muestral con un área de 0,07 hectáreas para cada variedad. Se realizaron muestreos destructivos de forma periódica para determinar: longitud y número de los tallos por planta, número de hojas activas por tallos, superficie foliar, cantidad de tubérculos, peso fresco de éstos por planta, así como la acumulación y distribución de biomasa seca por órganos. El rendimiento se estimó a partir de muestreos en diferentes momentos del ciclo del cultivo, y en determinadas áreas después de los 70 días de la plantación, calculando el porcentaje de error por exceso (+) o defecto (-) que se comete al hacer la estimación con respecto al rendimiento alcanzado en la cosecha. Se realizaron correlaciones entre el número de tallos y tubérculos por planta con el rendimiento, para comprobar su efectividad en la estimación del mismo. Resultaron variables determinantes en la formación del rendimiento de la papa: el ciclo del cultivo, el área foliar y la capacidad de distribución y acumulación de biomasa seca hacia los tubérculos, sobre los que influye de forma importante la variabilidad de las condiciones climáticas imperantes durante la plantación. Las variables número de tallos y número de tubérculos por planta empleadas en la estimación del rendimiento, no resultaron adecuadas, al no ser significativo el coeficiente de correlación que se obtiene. Al estimar, resultaron convenientes los muestreos realizados en las etapas iniciales de la maduración del tubérculo, considerando entre 10 y 15 plantas por variedad a las que corresponden áreas de 2,7 y 3,6 m², respectivamente; lo cual conduce a porcentajes de error con respecto al rendimiento real por debajo de un 10%.

Índice

Contenido	Páginas
Introducción	1
Problema e Hipótesis	2
Objetivos	3
Revisión bibliográfica	4
• Origen y distribución del cultivo	4
• Clasificación taxonómica	4
• Características morfológicas	5
• Etapas fenológicas del cultivo	6
• Requerimientos edafoclimáticos	8
• Utilización en la alimentación humana	10
• Producción mundial	12
• Evaluación del crecimiento y desarrollo del cultivo	14
• Factores que influyen en el rendimiento del cultivo	17
• Estimación del rendimiento en el cultivo de la papa	21
Materiales y métodos	23
Resultados y discusión	27
• Análisis del comportamiento de las variables meteorológicas para el período evaluado.	27
• Evaluación del crecimiento y desarrollo fisiológico del cultivo	30
• Análisis del rendimiento alcanzado en el cultivo	48
• Análisis de la estimación del rendimiento en diferentes momentos y áreas muestreadas en el cultivo de la papa	54
Conclusiones	60
Recomendaciones	61
Bibliografías	62
Anexos	

Introducción

La papa es el vegetal más producido y consumido en el mundo. Originaria de Los Andes, actualmente alcanza producciones anuales que representan la mitad de la producción mundial de todas las raíces y tubérculos. Manifiesta gran importancia alimentaria, siendo superior a todos los otros cultivos en la producción de proteínas y energía por unidad de tiempo y superficie. Presenta una amplia capacidad de adaptación a las más disímiles condiciones ambientales, es por eso que se cultiva en más de 130 países donde habitan las tres cuartas partes de la población mundial. Es un cultivo básico en la agricultura de zonas donde las características climáticas permitan su desarrollo, ya que es uno de los pocos, que en regiones tropicales brinda más de 20 t.ha⁻¹ de alimento de mucha aceptación, en solo 90–160 días como promedio (CIP, 1995).

En Cuba ocupa el primer lugar entre las raíces y tubérculos, plantándose cada año entre 10 000 y 15 000 hectáreas, con rendimiento medio de 18 y 25 t.ha⁻¹ y una producción anual de 300 000 toneladas (Estévez, 2005). Constituye un alimento muy valorado en la dieta de la población cubana, por lo que resulta una necesidad para científicos y productores lograr incrementos en la producción y calidad de este cultivo.

Aunque se planta en muchas zonas geográficas, las condiciones idóneas para su producción se presentan en un corto período de tiempo. Por esta razón y teniendo en cuenta sus exigencias edafoclimáticas, las áreas de producción generalmente se encuentran ubicadas en los suelos más productivos y en las épocas más frías del año (Herrera y Moreno, 2005).

Es un cultivo altamente tecnificado, dadas sus exigencias fisiológicas intrínsecas, las características de los suelos y el clima donde se desarrolla, y los sistemas de producción que le son propios. Mantener estable la producción requiere de un gran esfuerzo por parte de las instituciones involucradas en la cadena productiva,

los investigadores y extensionistas. El problema es más serio en áreas tropicales donde las condiciones no son totalmente favorables para su cultivo, lo que trae consigo la necesidad de utilizar cuantiosos recursos financieros y materiales.

La obtención de altos rendimientos en la papa depende del potencial productivo de las variedades cultivadas y el tratamiento o manejo realizado a las mismas; sin embargo en nuestra región la temperatura constituye un factor determinante en el desarrollo fisiológico del cultivo, con marcada influencia sobre la actividad fotosintética y la formación del tubérculo, lo que hace importante el estudio del comportamiento del crecimiento de las plantas y su relación con el rendimiento en estas condiciones.

A raíz del cambio climático y a la influencia que la variabilidad de los factores ambientales ejerce sobre la productividad del cultivo, se realizan estudios que permitan simular o estimar el rendimiento, basados generalmente en el empleo de variables meteorológicas, que en última instancia determinan el crecimiento y desarrollo de las plantas. Sin embargo el empleo de variables agronómicas que pueden presentar mayor influencia en la estimación de los rendimientos y constituir herramientas más prácticas y viables para los productores en el momento de planificar la cosecha, no han sido muy empleadas.

Problema

En Cuba no están bien definidas las variables que ejercen una mayor influencia para realizar un estimado confiable del rendimiento en el cultivo de la papa, con el empleo de un mínimo tamaño de muestra que satisfaga la estimación.

Hipótesis

La determinación del rendimiento en diferentes formas y momentos del ciclo del cultivo permite hacer estimaciones adecuadas del que se alcanzará en la cosecha con una elevada confiabilidad.

Objetivo General

Evaluar algunas variables involucradas en el crecimiento y desarrollo de las plantas que permitan explicar la formación del rendimiento y su estimación en el cultivo de la papa (*Solanum tuberosum* L.).

Objetivos Específicos

- Analizar el comportamiento de algunas variables climáticas y agromorfológicas que intervienen en la formación del rendimiento del cultivo.
- Estimar el rendimiento del cultivo a partir de diferentes formas de muestreo en distintos estadios fisiológicos de las plantas.

Revisión Bibliográfica

Origen y distribución del cultivo

La papa o patata (*Solanum tuberosum* L.) tiene su origen en Latinoamérica, en la zona de Los Andes (sur de Perú y norte de Bolivia), donde existe la mayor diversidad de especies cultivadas y silvestres (Hawkes, 1994; Wikipedia, 2011). Extendida a Europa por los españoles durante la colonización en el siglo XVI, ha sido desarrollada y ampliamente estudiada en todo el mundo, siendo considerada uno de los principales alimentos para el ser humano a nivel mundial, superada solamente por el arroz, el trigo y el maíz (Zulzer, 2008).

En el país los primeros informes sobre la introducción de este cultivo datan de 1798 e indican que fueron Güines, Provincia Habana (actual Mayabeque) y Potrerillo de Gibara, Holguín, los primeros lugares donde se plantó papa a través de emigrantes españoles (Guerra, 1991). En 1920 comenzó a plantarse, a pequeña escala y en algunas fincas, en zonas de Pinar del Río, Matanzas, Camagüey y Oriente. Después del Triunfo de la Revolución comienza su desarrollo a mayor escala, con la importación de semillas desde Europa y Canadá (Agramonte, 1999). A partir de ese momento se extiende el cultivo a todo el país, siendo La Habana, Matanzas y Ciego de Ávila las provincias de mayor área plantada en la actualidad (Manso, 2009).

Clasificación taxonómica

Reino	<i>Plantae</i>
División	<i>Magnoliophyta</i>
Clase	<i>Magnoliopsida</i>
Subclase:	<i>Asteridae</i>
Orden	<i>Solanales</i>
Familia	<i>Solanaceae</i>
Género	<i>Solanum</i>
Especie	<i>Solanum tuberosum</i> L.

Esta familia está conformada por 90 géneros aproximadamente, siendo 40 endémicos de Latinoamérica. El género *Solanum* reúne más de dos tercios de las especies de esta familia, con más de 2 400, distribuidas por todo el mundo con gran representación en las regiones tropicales y subtropicales (Ochoa, 1990 y Hawkes, 1990).

Características morfológicas

Según la caracterización planteada por Salas, *et al.* (2009), es una planta herbácea, tuberosa, perenne a través de sus tubérculos, caducifolia, de tallo erecto o semi-decumbente. Sus hojas son compuestas, dispuestas en forma espiralada en los tallos. Presentan pelos o tricomas en su superficie, en grado variable dependiendo del cultivar considerado.

Presenta tres tipos de tallos, uno aéreo, circular o angular en sección transversal, sobre el cual se disponen las hojas; y dos tipos de tallos subterráneos: los estolones y los tubérculos. Los tallos aéreos son herbáceos, suculentos y pueden alcanzar de 0,6 a 1,0 metro de longitud. Pueden ser erectos o decumbentes, inclinándose progresivamente hacia el suelo en la medida que avanza la madurez de la planta. Los estolones están formados por brotes laterales más o menos largos que nacen de la base del tallo aéreo y presentan un crecimiento horizontal bajo la superficie del suelo. Cada uno de ellos, a través de un engrosamiento en su extremo distal, genera un tubérculo. Los tubérculos se encuentran soterrados y constituyen órganos de almacenamiento de nutrientes de la planta. Pueden presentar una forma alargada, redondeada u oblonga y su color puede ser blanco, amarillo, violeta o rojizo, dependiendo de la especie.

El sistema radical es fibroso, ramificado y extendido más bien superficialmente, pudiendo penetrar hasta 0,8 m de profundidad. Se ubica en la porción de los tallos comprendida entre el tubérculo semilla y la superficie del suelo presentando un rápido crecimiento a partir de los primeros estados de desarrollo, y hasta el momento en que comienza la formación de tubérculos.

La inflorescencia nace en el extremo terminal del tallo y el número de flores es variable. Pueden ser de color blanco, azul, borravino y púrpura dependiendo del cultivar. El fruto es una baya, que puede presentar una forma redonda, alargada, ovalada o cónica. Las bayas se presentan agrupadas en racimos terminales, y pueden contener aproximadamente entre 200 y 400 semillas muy pequeñas, aplanadas, de forma arriñonada, que pueden ser blancas, amarillas o castaño amarillentas.

Etapas fenológicas del cultivo

Durante el período de crecimiento y desarrollo de la planta se distinguen tres fases fundamentales según Lujan (1994). La primera se inicia con la brotación de los tubérculos durante el almacenamiento, continúa con la siembra del tubérculo semilla y la emergencia de los brotes a nivel de la superficie del suelo, avanzando hasta la expansión de las primeras hojas de los tallos principales, que son los que nacen directamente del tubérculo madre.

La segunda fase continúa con el crecimiento de las ramificaciones de los tallos aéreos y de los órganos subterráneos (desarrollo del tubérculo), y termina cuando la planta alcanza su mayor área foliar; una producción alta de metabolitos pasa a las ramificaciones axilares que disminuyen, interrumpiéndose por completo a medida que se incrementa la traslocación de estos hacia los tubérculos.

La tercera corresponde a la maduración y se extiende desde el máximo crecimiento del follaje hasta la senectud de los tallos, de las raíces y el engrosamiento de los tubérculos.

Para Rowe (1993) el crecimiento y desarrollo de la papa se puede diferenciar en cinco estados:

- Crecimiento I (crecimiento de los brotes): desarrollo de los brotes en los ojos del tubérculo semilla, que emergen sobre la superficie del suelo y comienza el desarrollo de raíces en la base de los brotes emergidos; las reservas de la semilla son la fuente de energía para el crecimiento durante su estado, pues la fotosíntesis, aún no comienza.

- Crecimiento II (crecimiento vegetativo): estado en el que las hojas, ramas y tallos se desarrollan sobre la superficie del suelo y los nudos de los brotes se alargan, emergiendo las raíces y los estolones, que se extienden debajo de la superficie. La planta obtiene una parte de la energía del tubérculo semilla a principios de este estado, pero luego comienza la fotosíntesis y los procesos de producción de carbohidratos como fuente de energía para futuro crecimiento y desarrollo; en este período se forman todas las partes vegetativas de la planta y comienza el crecimiento de las puntas de los estolones, hasta que se inicia el desarrollo de los tubérculos.
- Crecimiento III (iniciación del tubérculo): en este estado de crecimiento se forman los tubérculos, la iniciación de este proceso es controlada por hormonas reguladoras del crecimiento que produce la planta. Este estado tiene un período de duración de 10–14 días y en muchas variedades el final de esta fase coincide con una floración temprana, donde pocas flores se abren y son muy poco visibles. En general se considera que muchos de los tubérculos que tienen un tamaño ideal en la cosecha se inician durante este período.

El manejo del agua durante este estado es fundamental para ayudar al desarrollo del cultivo. Un 80–90 % de disponibilidad de agua durante el comienzo del crecimiento del tubérculo y ensanchamiento del mismo, favorece un crecimiento rápido en la planta.

- Crecimiento IV (llenado del tubérculo): las células del tubérculo se expanden con la acumulación de agua, nutrientes y carbohidratos. A partir de este momento los tubérculos son órganos dominantes del depósito y movilización de nutrientes orgánicos dentro de la planta.
- Crecimiento V (maduración): el follaje entra lentamente en el proceso de senescencia, cambia a color amarillo y las hojas se marchitan. La fotosíntesis decrece gradualmente, la tasa de crecimiento del tubérculo se hace más lenta y el follaje eventualmente muere. El contenido de materia

seca de los tubérculos alcanza el máximo valor en este estado y la piel se endurece, aumentando su espesor.

Bajo condiciones favorables el crecimiento de los tubérculos puede ser de 800 a 1000 kg.ha⁻¹.día⁻¹; y el potencial productivo de la papa, sobre todo en variedades de periodo vegetativo largo, es superior a las 100 t.ha⁻¹ (FAO, 2008).

Requerimientos edafoclimáticos

Las condiciones del cultivo varían de una variedad a otra, pero por lo general prefiere suelos ricos en humus, sueltos y arenosos. El desarrollo de este cultivo está condicionado por factores externos desde el inicio de la tuberización hasta su cosecha y conservación. Entre los factores que influyen notablemente en los rendimientos se encuentran: la temperatura, la duración del día, la luz y la humedad (Wikipedia, 2011).

- **Temperatura**

La papa se cultiva en países con clima templado, subtropical y tropical. Es esencialmente un cultivo de clima templado, para cuya producción la temperatura representa la limitante principal.

La temperatura tiene marcada influencia sobre el desarrollo del follaje y los tubérculos: valores inferiores a 10 °C y superiores a 30 °C inhiben decididamente el desarrollo del tubérculo, mientras que la mejor producción ocurre donde la temperatura diaria se mantiene en promedio de 18 a 20 °C, aunque algunas variedades rinden el máximo con temperaturas mayores (López, *et al.*, 1995 y FAO, 2008).

Infantes (2006) plantea que un incremento de la misma por encima de estos valores disminuye la fotosíntesis y aumenta la respiración, por consecuencia hay combustión de los carbohidratos almacenados en los tubérculos. El efecto del aumento de temperatura puede variar desde un incremento hasta un decrecimiento marcado del rendimiento y el contenido de materia seca de los tubérculos (Ruíz, 2001).

Torres y Reynaldo (1993) obtuvieron un aumento del área foliar con temperaturas de 20 °C y muy poco o nulo con temperaturas mayores de 35 °C.

Aunque los requerimientos térmicos pueden diferir según la variedad, se puede generalizar, que temperaturas máximas o diurnas de 20 a 25 °C, son óptimas para el desarrollo profuso del área foliar de la planta, y mínimas o nocturnas de 8 a 13 °C son excelentes para una buena tuberización. (Estévez, *et al.*, 2005).

La respuesta fotoquímica a la temperatura tiene estrecha relación con la intensidad lumínica. Así, cuando esta última es alta (sobre 50 000 lux) la fotosíntesis neta se optimiza en altas temperaturas (Wikipedia, 2011).

- **Fotoperíodo**

La respuesta a la longitud del día o fotoperíodo depende de la subespecie y variedad considerada. Generalmente requiere de fotoperíodo largo (más de 14 horas de luz) para desarrollar su área foliar y de fotoperíodo corto (menor de 14 horas de luz) en su proceso de tuberización. Bajo condiciones de día corto las plantas muestran una tuberización temprana, los estolones son cortos y el follaje permanece reducido. Bajo condiciones de día largo (sobre 25° de latitud norte o sur) ocurre lo contrario (Valbuena, 2001).

- **Luz**

La intercepción de luz por el cultivo depende de la intensidad lumínica, la arquitectura del follaje, el porcentaje de suelo cubierto por el mismo y la edad de las hojas. La asimilación bruta de la papa en un día luminoso pleno (50 000 lux) a 18-20 °C es de 1,92 g de CO₂ por m² de área foliar por hora, con una concentración de 0,03 % de CO₂. Esto equivale a un rendimiento neto potencial de 1,23 g de materia seca. En los cultivos con baja densidad de plantación (menos de 35 000 plantas.ha⁻¹) no se produce competencia entre plantas, pero parte de la luz se pierde porque no toda el área de suelo está cubierta de follaje. Ello estimula a una mayor producción por planta y a un mayor tamaño de sus tubérculos, pero el

rendimiento por unidad de superficie será inferior a aquel que presenta una densidad superior (Contreras, citado por Navarro, 2000).

La luminosidad también influye en la producción de carbohidratos, dado que es uno de los elementos que interviene en la fotosíntesis. Ejerce su influencia además en la distribución de los carbohidratos, siendo su concentración mayor en los tubérculos cuando es alta. La máxima asimilación ocurre a los 60 000 lux. (Infantes, 2006)

En condiciones de alta intensidad luminosa, la asimilación de nutrientes es más elevada. La presencia de luz desplaza la relación follaje–crecimiento del tubérculo a favor de este último (López, *et al.*, 1995). Según Van der Zaag (1993) el rendimiento está en función de la duración del período vegetativo y del crecimiento del tubérculo por día. Una combinación formada por un largo período vegetativo y un crecimiento rápido del tubérculo por día, dan lugar a rendimientos máximos.

- **Humedad**

La humedad también influye de forma importante sobre el cultivo, dado que una sequía prolongada impide el desarrollo del tubérculo. En general las lluvias repetidas provocan mejores rendimientos en la papa. El agua es un factor decisivo, su ausencia o abundancia puede paralizar por completo y destruir la planta. Sin embargo, este cultivo requiere aproximadamente 2,5 cm de agua por semana (ID-56, 1998). Las deficiencias hídricas reducen el crecimiento del follaje y pueden disminuir el porcentaje de masa seca de los tubérculos debido al cierre estomático y la consiguiente disminución de la tasa fotosintética al restringirse el paso de CO₂ (Jerez, 1991).

Utilización en la alimentación humana

La papa es uno de los cultivos más importantes del mundo, ocupa el primer lugar dentro de los vegetales que más se consumen por su contribución a la dieta humana en: calorías, vitaminas, proteína y sales minerales (Buckenhüskes, 2005); además de contener otras sustancias como los aminoácidos: lisina y cisteína, el

ácido pantoténico, el zinc y el cobre, deficientes en la mayoría de los productos agrícolas (Kolasa, 1993).

Para el consumo humano solamente es superado por tres cereales: el trigo, el arroz y el maíz. No obstante, los tubérculos de la papa brindan un rendimiento por hectárea varias veces superior a aquellos que se obtienen con los cereales. Tales tubérculos también se utilizan en diversos alimentos procesados, como agente gelificante y en la producción de bebidas alcohólicas. Asimismo, presentan un sinnúmero de aplicaciones industriales (Estrada, 2001).

La importancia de la papa radica en la elevada capacidad del cultivo para producir energía por unidad de superficie (FAOSTAT, 2008). La papa es fácilmente digerida y tiene un alto valor nutricional (Tabla 1).

Tabla. 1 Valor nutritivo de la papa por cada 100 g.

Energía	80 kcal
Carbohidratos	19 g
Almidón	15 g
Grasas	0.1 g
Proteínas	2 g
Agua	75 g
Tiamina (Vit. B1)	0,08 mg (6%)
Riboflavina (Vit. B2)	0,03 mg (2%)
Niacina (Vit. B3)	1,1 mg (7%)
Vitamina B6	0,25 mg (19%)
Vitamina C	20 mg (33%)
Calcio	12 mg (1%)
Hierro	1,8 mg (14%)
Magnesio	23 mg (6%)
Fósforo	57 mg (8%)
Potasio	421 mg (9%)
Sodio	6 mg (0%)

Fuente: Salazar, 1997

El tubérculo contiene alrededor de un 80 % de agua, seguido por los carbohidratos que constituyen entre un 16–20 %; dentro de estos se destacan los almidones. La fibra alimentaria representa de 1–2 % del total y se encuentra fundamentalmente en la piel del tubérculo. La concentración de azúcares simples es baja (0,1–0,7 %), siendo la glucosa, fructosa y sacarosa los de mayor importancia (Petryk, 2005).

Las proteínas son los nutrientes más abundantes después de los carbohidratos, constituyendo el 2 % del total, encontrándose fundamentalmente en el córtex o zona inmediata debajo de la piel y la médula o zona central. Las más importantes son las albúminas (49 %), globulinas (26 %), prolaminas (4,3 %) y glutelinas (8,3 %) (Digmer, 2004).

Existen gran cantidad de vitaminas hidrosolubles y minerales, estos últimos representados en 1 % del total (Gómez y Wong, 2000). Son sustancias componentes además los ácidos orgánicos como el cítrico, málico y oxálico, que además de regular la acidez de la savia de la papa, constituyen el aroma y el sabor.

Producción Mundial

La papa forma parte importante del sistema alimentario mundial, siendo el producto no cerealero número uno, con una producción sin precedente, de 320 millones de toneladas en el año 2007. Su consumo se extiende vigorosamente en el mundo en desarrollo, que hoy produce más de la mitad de la cosecha mundial, donde la facilidad del cultivo y gran contenido de energía de la papa, la han convertido en un valioso producto comercial para millones de agricultores (FAO, 2008).

Es cultivada en más de 100 países en la actualidad. Desde 1960 la producción mundial se ha mantenido estable a un nivel de 260–270 millones de toneladas, con un área cultivada de 18 millones de hectáreas, para un rendimiento de 15,5 t.ha⁻¹; concentrándose las mayores producciones en Europa y Asia (Deroncelé, *et. al*, 2000). En los últimos 10 años ha crecido cerca de 327 millones de toneladas en una superficie cultivada de 18,6 millones de hectáreas, reflejando

tendencias diferentes en la producción y utilización de la papa en los países desarrollados y en desarrollo. La producción del tubérculo está creciendo muy poco en los primeros, especialmente en Europa, mientras que en los países en desarrollo esta aumentando y representa el 35 % de la producción mundial (Ramos, 2006).

Los mayores productores son China (41 millones de toneladas), Rusia (33 millones), E.U.A. (21 millones) y Polonia (20,8 millones) de acuerdo con la FAO (1996). Del total producido, el 51 % es destinado al consumo humano, el 21 % a la alimentación animal, el 13 % a semilla y el 7 % al procesamiento industrial.

Aproximadamente el producto llega a más de mil millones de consumidores en todo el mundo, dentro de este total figuran 500 millones de consumidores de países en vías de desarrollo, cuya dieta básica incluye la papa (Estévez, 2005).

Asia produce el 80% del volumen total de papa de los países en desarrollo, representando China el 20 % de la producción mundial. Los mayores rendimientos por hectáreas son obtenidos en los Países Bajos, superando las 50 t.ha⁻¹. En América Latina, el crecimiento de la producción en las últimas cuatro décadas fue de 2,3 % anual, donde el aumento de la productividad se consideró como el principal responsable, ya que la superficie cultivada solo creció en una tasa de 0,2 % anual (Estévez, *et al.*, 2005).

Cuba se encuentra entre los cuatro primeros países productores de Latinoamérica, solo superado por Argentina, lo que demuestra buenas potencialidades productivas. Es un cultivo priorizado por el estado cubano, no solo por sus bondades, sino por la posibilidad de almacenar tubérculos en cámaras refrigeradas por largos períodos de tiempo y garantizar un suministro estable a toda la población, por lo que se ha convertido en un cultivo de seguridad alimentaria (Manso, 2009).

Se cultiva fundamentalmente en la región occidental y central, y en menor medida en la zona oriental del país, fundamentalmente en época seca comprendida entre los meses de noviembre–abril (Salomón, 2001). Se plantan un promedio de 10 000 hectáreas anuales, obteniéndose rendimientos que oscilan entre 18–25

t.ha⁻¹ (Castillo, 2000 y Estévez, *et al.*, 2006). Estos valores resultan superiores a la media mundial de 15,5 t.ha⁻¹ (Estévez, Guerra y Manso, 2005) y garantizan un consumo superior a los 25 kg por habitante por año (FAOSTAT, 2008).

Todas las variedades que se utilizan actualmente en la producción son el resultado de la introducción y selección de materiales foráneos, invirtiendo el gobierno cubano cada año, más de 10 millones de dólares en la compra de semillas fundamentalmente a Holanda y Canadá (Estévez, *et al.* 1996). Estas variedades no expresan sus potenciales óptimos de producción en nuestras condiciones, pues son propias de clima y suelo muy diferentes a las nuestras (González, 1998).

Evaluación del crecimiento y desarrollo del cultivo

El crecimiento se refiere a un incremento irreversible de materia seca o volumen, cambios en tamaño, forma y/o número, como una función del genotipo y el complejo ambiental, lo que da como resultado un aumento cuantitativo del tamaño y peso de la planta (Krug, 1997). Es un proceso complejo que incluye muchos otros como: división celular, elongación, fotosíntesis, síntesis de otros compuestos, respiración, traslocación, absorción y transpiración (Gómez, *et al.*, 1999). Por otra parte, la composición de eventos que causan cambios cualitativos en la forma y función de la planta, por ende en la formación del producto, son el resultado del proceso de desarrollo de las mismas. Dada la íntima relación crecimiento-diferenciación que se establece en el proceso de desarrollo en las plantas, ambos no pueden separarse bajo ninguna circunstancia, pues su interacción unida a factores externos e internos son los que la propician (Echenagusía, 1999).

El análisis del crecimiento es de gran utilidad en la investigación agronómica y constituye una herramienta viable para la relación de estudios básicos en diferentes especies, por lo que permite conocer el comportamiento de los componentes morfofisiológicos y fisiológicos del rendimiento debido a una correlación positiva con respecto al peso seco total y el área foliar de las plantas (Ballesteros, 1997).

Se han realizado intentos para expresar la producción en términos de crecimiento. El análisis del crecimiento ha tratado de explicar matemáticamente las variaciones en peso seco y área foliar de los organismos, en función del tiempo (Borrego, *et al.* 2000). Para estimar los índices de eficiencia en el crecimiento, o parámetros fisiotécnicos, es necesario obtener el peso seco de las plantas, sus órganos y el área foliar, en intervalos de tiempo durante el desarrollo del vegetal (Raddford, 1967; Hunt, 1981 y Beadle, 1988). Esto brinda información más precisa de la eficiencia con que las plantas acumulan y traslocan fotosintetizados, que la sola medición de características agronómicas como número de tallos, altura, cobertura, etc.

La cuantificación del crecimiento vegetal puede hacerse a nivel de planta completa o de órganos mediante procedimientos destructivos y no destructivos, por ejemplo: la medición de la longitud y diámetro de los tallos es un procedimiento no destructivo, mientras que la determinación del peso seco total o de los órganos de la planta implican muestreos destructivos sucesivos. Las variables más comúnmente usadas para hacer el análisis del crecimiento vegetal son el peso seco por órganos y el área foliar, esta última es considerada el componente fisiológico más importante en el crecimiento y los rendimientos de un cultivo, pues está asociado a los niveles de fotosíntesis (Valbuena, 2001).

Durante el ciclo de vida, la planta de papa tiene localizados estratégicamente sus puntos de crecimiento: tallos, estolones, tubérculos y brotes; todas son estructuras similares, pero sus respuestas en términos de formación de órganos (morfogénesis) son diferentes, dependiendo del estímulo ambiental y el mensaje endógeno que reciben (Herrera, *et al.*, 2001).

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 en la planta de papa, corresponden a aquellos exportadores netos de asimilados, que son principalmente hojas y tallos verdes (órganos autotróficos), productores de azúcares y aminoácidos a partir de compuestos resultantes de la fotosíntesis. Los tejidos vertedero son importadores

netos de asimilados constituyendo órganos que crecen rápidamente tales como los meristemos y hojas inmaduras, y tejidos de almacenamiento como los tubérculos, semillas o raíces (órganos heterotróficos) que consumen estos productos en los procesos de respiración, crecimiento y almacenamiento (Foyer y Paul, 2001). La potencia o demanda del vertedero se refiere a la habilidad de este tipo de órganos para atraer o acumular compuestos de carbono. En una planta de papa el vertedero de mayor interés es el tubérculo (Dwelle, 1990).

La asignación de asimilados es el resultado del crecimiento y desarrollo, los cuales son mutuamente dependientes, además de estar influenciados por la interacción de las condiciones climáticas, las prácticas culturales y el genotipo. 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 del 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 entre variedades 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 y Evans, 1981 citados por Tekalign y Hammes, 2005a). 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 formación de tubérculos en papa depende, entre otras cosas, de la disponibilidad de asimilados y de la habilidad de los tubérculos para acumularlos. Antes de la tuberización, los fotoasimilados se destinan principalmente para el desarrollo de las hojas, los tallos y las raíces, la fuerza de la demanda de las hojas es mayor que la de cualquier otro órgano. Con el inicio de la tuberización, esta

tendencia cambia, pues a medida que los tubérculos crecen, su demanda de asimilados aumenta (Moorby, 1970 y Wolf, 1993).

Para estudiar los procesos de acumulación y distribución de biomasa, se realiza el análisis del crecimiento utilizando diversos índices de eficiencia fisiológica. Este análisis se ha empleado en papa para entender el proceso de producción (Tekalign y Hammes, 2005b), de densidad de plantas y fertilización (Keli, *et. al.*, 2004) en la fisiología y rendimiento de genotipos; permite analizar las relaciones fuente-demanda entre órganos de la planta (Aguilar, *et. al.*, 2006; Núñez, Santos y Segura, 2009; Santos, Segura y Núñez, 2010) y explicar el comportamiento diferencial de la producción y el rendimiento entre variedades que crecen en las mismas condiciones (Reta y David, 1996).

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 (tubérculos), 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).

La producción de materia seca está relacionada con el área foliar, por lo tanto cuando esta última es alta se espera una alta acumulación de materia seca y una mayor productividad del cultivo (Santos, Segura y Núñez, 2010).

Factores que influyen en el rendimiento del cultivo

El estudio del crecimiento reviste singular importancia en cualquier cultivo por cuanto de él depende la producción que se alcance. En el caso de la papa, el rendimiento está determinado en gran medida por el desarrollo que alcance la superficie foliar, aspecto en el que juega un papel importante la variedad que se trate, además de los factores abióticos, de ahí que se le preste una especial atención a esta variable (Rodríguez, *et. al.*, 2000), pues de ella depende el índice

de área foliar (De la Casa, *et al.*, 2007) y por consiguiente la cantidad de radiación que las plantas puedan interceptar. Este índice cumple la función de retroalimentación entre las plantas y el régimen de radiación (Kadaja y Tooming, 2004) controlando la capacidad fotosintética del cultivo.

El rendimiento del cultivo dependerá no sólo de la medida en que el follaje pueda aprovechar intensa y eficientemente la radiación solar, sino además de una partición de metabolitos formados, que favorezca la acumulación de las reservas en el tubérculo y no el crecimiento excesivo del follaje (Van Dam, Coman y Struik, 1996).

El ciclo del cultivo ejerce una influencia directa en el rendimiento que se alcance (Niño, *et al.*, 2006; Jerez y Martín, 2010) y en este sentido su afectación provocará reducciones en los rendimientos. Por otra parte, según Ferreira y Gonçalves (2007), el rendimiento en última instancia, dependerá de la interacción de muchos factores entre los que se encuentra el tratamiento o manejo realizado al cultivo durante su desarrollo.

La papa puede producir una gran cantidad de alimento en un periodo de tiempo muy corto, pero los rendimientos se verán afectados no sólo por el comportamiento de las diferentes variedades, sino además por la variabilidad espacial que influye decisivamente en los mismos, además de la presencia de plagas y enfermedades propias del cultivo (Shillito, *et al.*, 2005).

Existen evidencias de que la fotosíntesis neta está controlada por la demanda y el tamaño del vertedero, en este caso del tubérculo. El crecimiento de este órgano está relacionado con incrementos en la capacidad fotosintética de las hojas de la planta, sin embargo en el momento de la iniciación del tubérculo la tasa fotosintética disminuye, existiendo un período máximo de fotosíntesis en la etapa de floración que presenta una relación lineal con el llenado de los tubérculos (Herrera, Fierro y Moreno, 2001).

Otro factor esencial en el rendimiento agrícola es el índice de cosecha (IC) de los cultivos, el cual expresa la relación entre el peso seco de los tubérculos con el resto de la planta. Este indicador representa el mayor potencial en términos de

incremento de rendimientos, en particular, la forma como ocurre la partición de asimilados en las plantas. De ahí la importancia de realizar estudios sobre la producción, asignación y distribución de asimilados en las variedades de papa utilizadas comercialmente en el país (Valbuena, 2001).

Otro aspecto importante a tener en cuenta en la producción de este cultivo, lo constituye la calidad del tubérculo, no solo representada por el número de ellos que se presenten en la categoría de comerciales (calibre > 36 mm) y su peso, sino por la calidad interna de los mismos y su contenido de materia seca. Esto último se encuentra íntimamente relacionado con su composición química, y en ello influyen diversos factores como la variedad, el clima, los sistemas de manejo, el año agrícola, la zona de procedencia, la fisiología y el almacenamiento (Estrada, 2001 y Castillo, 2010).

La síntesis, el transporte y la acumulación de materia seca en los tubérculos de papa es una característica cuantitativa, controlada por varios factores genéticos y afectados por las condiciones ambientales (Bonierbale, *et al.*, 2001).

Los factores ambientales están cambiando constantemente, sobre todo a raíz de la influencia del cambio climático, y el cultivo de la papa se desarrolla en distintos ambientes de diferentes maneras, lo que sin duda afecta la productividad del mismo.

La longitud del día influye considerablemente en el hábito de crecimiento de la papa, generalmente es considerada como uno de los principales factores que regulan la tuberización. Las exposiciones del follaje a días cortos inducen la tuberización, las plantas muestran una formación temprana del tubérculo. Los días largos, inducen la floración, formación de raíces laterales, la restricción de la tuberización, y la producción de tubérculos es mucho más tarde (Herrera, *et al.*, 2001).

El inicio del crecimiento del tubérculo está afectado por la duración de luz diaria, por consiguiente, la intensidad de luz recibida durante este período tendrá un marcado efecto sobre el crecimiento posterior de los tubérculos, pues la intensidad lumínica es un factor importante en la síntesis de carbohidratos a través del

proceso de fotosíntesis. La baja incidencia luminosa podría llevar a una reducción en la acumulación de biomasa y la elongación de tallos a expensas del tubérculo, causando una reducción en cuanto al tamaño y peso de estos, con una disminución del índice de cosecha y el peso seco de la planta (Aldabe y Dogliotti, 1997).

La temperatura tiene efectos morfogenéticos en el crecimiento y desarrollo de la planta, interviene en la formación del tubérculo ya que existe una interacción entre esta variable ambiental y la longitud del día denominada fotoperíodo. Los efectos de la temperatura son cruciales al inicio del crecimiento temprano del tubérculo, y por consiguiente, del llenado del mismo. Las condiciones favorables para la tuberización y el incremento del tubérculo son días cortos y temperaturas nocturnas bajas, temperaturas entre 15-19 °C son óptimas para iniciar el crecimiento del tubérculo, 17 °C es un valor promedio para una buena producción de papa. Bajo condiciones de días cortos la proporción del peso vegetativo en plantas de papa es 12 veces superior con temperaturas altas, pero la producción de tubérculos es 19 veces mayor con temperaturas bajas (Van Dam, Kooman y Struik, 1996).

El tubérculo es el órgano más sensible al fotoperíodo y al régimen de temperaturas; así con 32/22 °C (día/noche) y 16 horas de fotoperíodo se inhibe completamente la formación del tubérculo, la acumulación de masa seca y la partición de asimilados en plantas de papa (Lafta y Lorenze, 1995).

Hertong, *et al.* (1997) y Bonierbale, *et al.* (2001) plantean que también los factores de calidad del tubérculo están sujetos a las condiciones ambientales durante la producción y el almacenamiento.

De acuerdo con la revisión realizada se denota que la producción del cultivo de la papa resulta de una fuerte interacción entre distintos factores del ambiente y los propios de la planta, que en alguna medida determinan el rendimiento que se alcance.

Estimación del rendimiento en el cultivo de la papa

De forma general en la bibliografía consultada se establece la estimación del rendimiento en el cultivo a partir del empleo de variables meteorológicas, las que en última instancia determinan el comportamiento del crecimiento y desarrollo de la planta que dan lugar al rendimiento. Estos estudios se han realizado aplicando modelos matemáticos de estimación de alta precisión, con el empleo de variados programas (Kadaja y Tooming, 2004 y Štastná, Toman y Dufková, 2010), pero siempre sobre la base de la simulación ante determinadas condiciones climáticas o características propias del suelo; según Valdivia, *et al.* (1997) estas variables permiten una estimación del rendimiento muy similar al alcanzado en la cosecha, sobre todo cuando se realiza en momentos cercanos a esta.

Según Pereira, *et al.* (2008), el uso de variables meteorológicas es fundamental para las estimaciones en el cultivo de la papa, ya que el rendimiento potencial solo puede alcanzarse en una especie o variedad cuando existan las condiciones de radiación solar y otros factores ambientales óptimos durante su desarrollo. Estudios realizados por Villa Nova, *et al.* (2005), indican que el rendimiento calculado a partir de las variables meteorológicas no presentó diferencias significativas con el obtenido en la cosecha.

Los modelos de rendimiento siguen la propuesta de Montheith (1994) estimando la máxima producción de biomasa en función de la radiación fotosintéticamente activa interceptada, que el cultivo acumula a lo largo de su ciclo, y la eficiencia de conversión lumínica en biomasa.

Reconociendo el papel fundamental del índice de área foliar (IAF) en diversos procesos del crecimiento vegetal, Gordon, *et al.* (1997) evaluaron un modelo que estima la evolución del IAF basado en los principios de intercepción luminosa y la eficiencia en conversión de biomasa, incorporándole la influencia del estrés hídrico.

De la Casa, *et al.* (2003, 2007, 2008, 2011) realizaron estimaciones del rendimiento favorables basadas en la cantidad de radiación fotosintéticamente

activa y el IAF. También proponen las densidades de plantación como un elemento importante a tener en cuenta.

Kooman y Haverkort (1995) desarrollaron estimaciones del rendimiento potencial en determinados períodos de crecimiento y densidades de plantación, basados en la incidencia de radiación fotosintéticamente activa, la fracción de esta interceptada por el cultivo y su utilización para la producción de materia seca.

El empleo de variables agronómicas como pueden ser: momento de muestreo, forma (por surco o por área) y cantidad de plantas a evaluar, no han sido muy empleadas en la estimación del rendimiento (Martín, *et al.*, 2010).

Contreras (2011) plantea que el mejor momento para realizar estimaciones del rendimiento resulta a inicios de madurez o madurez completa del tubérculo, y está determinada fundamentalmente por el número de plantas a muestrear. Mientras mayor es el número de plantas muestreadas, mayor fidelidad presentará el resultado. Considera además como un aspecto importante el número de tubérculos con calibres comerciales.

Materiales y Métodos

El estudio se realizó en la finca “Las Papas”, perteneciente al Instituto Nacional de Ciencias Agrícolas; situada a los 23° 00´ de latitud norte y 82° 12´ de longitud oeste, a una altura aproximada de 138 m sobre el nivel del mar en San José de las Lajas, Mayabeque. Los experimentos se desarrollaron en un suelo Ferralítico Rojo Eutríco Compactado (Hernández, *et al.*, 1999) cuyas características químicas principales aparecen a continuación (Tabla 2), durante los años 2010 y 2011.

Tabla 2. Caracterización química del suelo durante el período evaluado.

pH	MO (%)	P ₂ O ₅ (ppm)	Cationes cambiables (cmol.kg ⁻¹)			
			K ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Na ⁺
6,7	3,77	474	0,67	11,23	5,65	0,04

En el mes de enero de ambos años se plantaron de forma manual, mediante un diseño muestral, tubérculos importados mayores de 45 mm, de las variedades seleccionadas, las cuales se muestran en la tabla 3.

El área experimental consistió en parcelas de 0,07 ha para cada variedad empleada (Anexo 1).

El riego fue por aspersión con una máquina de Pivote Central y las labores culturales y fitosanitarias se realizaron según los Instructivos Técnicos para el cultivo de la papa.

Tabla 3. Variedades utilizadas en la investigación.

Campaña	2010			2011		
Fecha de plantación	7/1/2010			11/1/2011		
Variedades	Call White	Spunta	Santana	Call White	Spunta	Santana
Marco de plantación (m)	0,30 x 0,90	0,30 x 0,90	0,25 x 0,90	0,30 x 0,90	0,30 x 0,90	0,25 x 0,90

En cada año analizado, se registraron de forma diaria la temperatura media del aire, la humedad relativa y las precipitaciones (Estación Meteorológica de Tapaste, cercana al área experimental); y se graficaron los datos de forma decenal.

Determinación del crecimiento y desarrollo de las plantas

Las evaluaciones se realizaron en diferentes momentos del ciclo de crecimiento y desarrollo del cultivo mediante muestreos destructivos, determinándose cada vez, en 10 plantas tomadas al azar, la longitud del tallo (cm), a partir de la base del mismo hasta la yema apical, el número de tallos por plantas y el número de hojas activas por tallo.

La superficie foliar (dm^2) se estimó a partir de las medidas lineales del largo y ancho de las hojas, y el uso de ecuaciones de regresión obtenidas previamente para cada variedad ($\text{SF}=\text{X} \cdot 0,59+3,96$ para Call White, $\text{SF}=0,62 \cdot \text{X}-9,86$ para Spunta y Santana), donde la variable independiente representó el producto del largo por el ancho.

Cada planta colectada se separó en sus órganos: hojas, tallos, raíces y tubérculos para determinar el crecimiento en biomasa seca (g) de cada parte, expresando el resultado como el promedio de una planta. El secado se realizó en bolsas de papel previamente identificadas que se colocaron durante 72 horas en estufa a $80\text{ }^\circ\text{C}$, hasta alcanzar peso constante. Para los tubérculos la masa seca se calculó a partir de 100 g de masa fresca de los mismos, y el mismo procedimiento de secado.

A partir de estos valores se estableció el porcentaje que representa la masa seca de los diferentes órganos considerados, con respecto al total producido; y se determinó el Índice de Cosecha (IC) correspondiente al porcentaje del rendimiento económico (tubérculos) con relación al rendimiento biológico por la fórmula:

$$\text{IC} = (\text{PSTub} / \text{PSTotal}) \times 100$$

Donde:

- PSTub: Masa seca de los tubérculos (g).
- PSTotal: Masa seca total de la planta (g).

Se evaluó además la velocidad relativa del crecimiento (VRC) para la masa seca de los tubérculos, en los períodos comprendidos entre los 28–40, 40–60, 60–70 y 70–90 días después de la plantación (ddp), a través de la siguiente ecuación:

$$VRC = (MS_{final} - MS_{inicial}) / t$$

Donde:

- MS_{final} : Masa seca acumulada (g) al final del período evaluado.
- $MS_{inicial}$: Masa seca acumulada (g) al inicio del período evaluado.
- t: tiempo transcurrido entre los dos muestreos en días.

Al final del ciclo del cultivo se determinó el número de tubérculos totales por planta y el rendimiento en la cosecha así como su distribución por calibres, expresándose el mismo en $t.ha^{-1}$, usando como referencia la densidad de plantación de los ensayos.

Estimación del rendimiento del cultivo

Para estimar el rendimiento se realizaron muestreos teniendo en cuenta diferentes momentos del ciclo de desarrollo del cultivo (40, 60 y 70 ddp) y determinadas áreas ($0,90 m^2$, $1,80 m^2$, $2,70 m^2$, $3,60 m^2$ y $4,50 m^2$) en una hilera, a los 70 ddp. Para el primer caso se tomaron 10 plantas al azar dentro del área experimental, mientras que para el segundo se tomaron plantas correspondientes a las áreas antes señaladas.

En cada evaluación se determinó el número de tubérculos y su peso fresco, atendiendo a su calibre (< 28 mm, 28 – 35 mm, 36 – 45 mm, 46 – 55 mm, > 55 mm), estableciendo aquellos de categoría comercial (calibre > 36 mm).

Se determinó el rendimiento promedio por planta en kg y se infirió el rendimiento en $t.ha^{-1}$. Además se calculó el porcentaje de error por exceso (+) o por defecto (-)

que se comete al hacer la estimación, con respecto al rendimiento que se alcanza en la cosecha, a partir de los diferentes momentos y áreas de muestreo.

Se realizaron correlaciones entre el número de tallos y el número de tubérculos por planta, con el rendimiento que se alcanza en cada variedad a los 70 días después de la plantación para comprobar su efectividad en la estimación del rendimiento en la cosecha tomándose para ellos 20 pares de valores.

Análisis estadístico

Los datos se procesaron utilizando el programa STATGRAPHICS Plus 5.1, mediante un ANOVA de clasificación simple y las medias se compararon por la prueba de Rangos Múltiples de Duncan a una $p \leq 0,05$; en los casos en que se analizó la dinámica, se estimó el error estándar de las medias. Se realizaron además análisis de regresión simple con un nivel de confianza del 95 %, para determinar la correlación entre algunas variables del crecimiento y el rendimiento del cultivo.

Resultados y Discusión

Análisis del comportamiento de las variables meteorológicas para el período evaluado

La papa es un cultivo que presenta una alta variabilidad influida de forma marcada por las condiciones climáticas, lo que justifica el análisis realizado a las principales variables meteorológicas que determinan el crecimiento y desarrollo del cultivo, durante el período evaluado (enero-abril) en los años 2010 y 2011.

El clima en este período se comportó como caracteriza a nuestras condiciones de invierno, con temperaturas ligeramente bajas y pocas precipitaciones. El análisis de los valores de temperatura máxima y mínima que se alcanzan, evidencia diferencias en su comportamiento, en los años estudiados. En la figura 1 puede observarse que en sentido general se encontraron mayores valores de esta variable para el año 2011, con medias de 28,6 y 15,8 °C para la máxima y mínima respectivamente, las temperaturas más bajas se sitúan entre los meses de enero y febrero. Por otra parte el año 2010 presentó temperaturas más bajas (26,2 y 14,6 °C, respectivamente) principalmente en los meses de febrero y marzo.

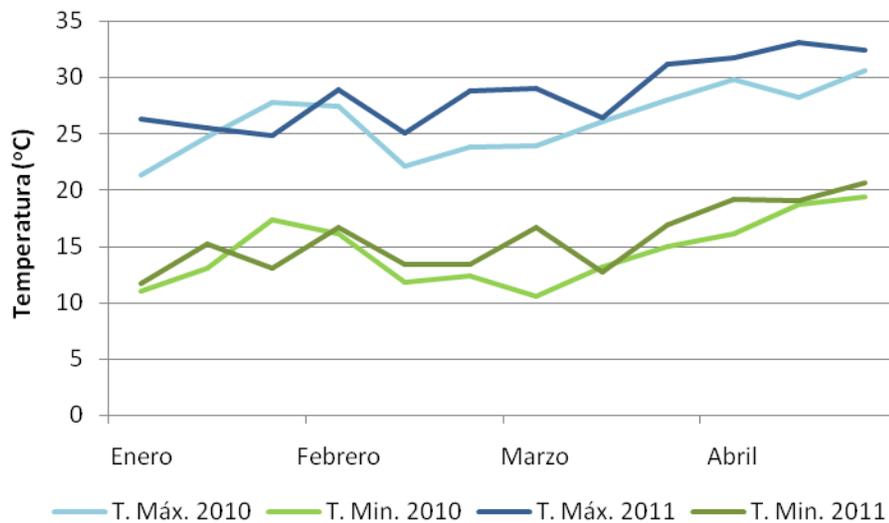


Figura 1. Valores de temperatura máxima y mínima (°C) registrados durante el ciclo de vida del cultivo para los años en estudio.

Las temperaturas medias reportadas para ambos años (sobre todo el 2011) sobrepasan a las establecidas como óptimas (15 y 20 °C) por Rousselle y Robert (1996) para la emergencia y crecimiento de estolones. El rango apropiado para la formación y desarrollo del tubérculo se encuentra entre 18 y 22 °C (Manrique, 1993) y valores entre 24 y 28 °C resultan favorables para el crecimiento vegetativo (Rousselle y Robert, 1996). Las temperaturas mínimas no suelen afectar el rendimiento ya que el cultivo de papa es considerado como resistente a temperaturas subóptimas (6 °C) según Aguiar, *et al.* (2006).

Es importante para el cultivo de la papa, que se mantengan las condiciones invernales sobre todo en el período correspondiente a la formación de los tubérculos, pues las bajas temperaturas inciden de forma favorable en el proceso de tuberización. Si bien esta cuestión es importante, la mayor influencia de esta variable meteorológica sobre el cultivo radica en el rango de amplitud que se establezca entre las temperaturas máximas y mínimas, durante este período.

La figura 2 muestra la amplitud registrada entre las temperaturas donde ambos años presentan un buen comportamiento en este indicador, pero se encuentran valores superiores para el año 2011.

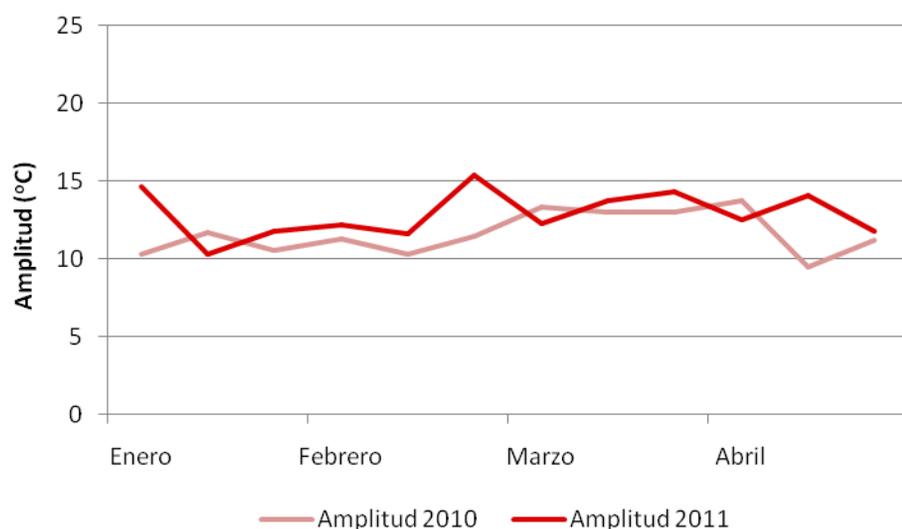


Figura 2. Amplitud entre la temperatura máxima y mínima (°C) registrada durante el ciclo de vida del cultivo para los años en estudio.

La humedad relativa máxima a su vez presentó los registros más altos para el segundo año en estudio, se mantiene de manera estable más del 90 % de saturación (Figura 3). Este comportamiento de la variable puede influir negativamente en el cultivo porque contribuye a la proliferación de enfermedades fungosas y bacterianas que afectan el óptimo desarrollo del mismo.

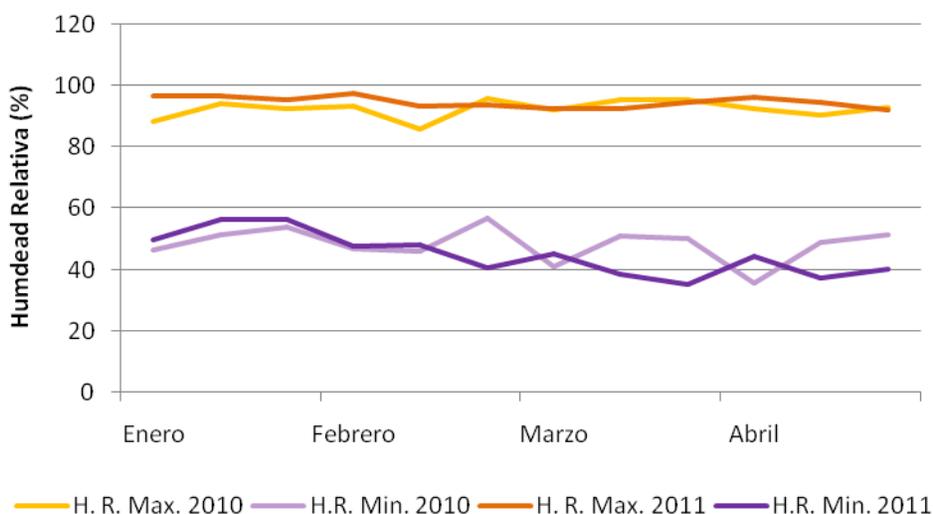


Figura 3. Valores de humedad relativa máxima y mínima (%) registrados durante el ciclo de vida del cultivo para los años en estudio.

Las precipitaciones resultaron muy escasas y dispersas en esta etapa, sobre todo para el año 2011, donde llovió de forma muy ligera, solo en los primeros meses para un acumulado de 114,4 mm. Los registros para el año 2010 fueron superiores, distribuidos durante todo el período, pero no dejan de ser bajos con acumulados de 210,3 mm; valores normales para la llamada temporada seca o poco lluviosa (Figura 4).

Es importante resaltar que las precipitaciones aunque influyen en la evolución del cultivo no lo afectan directamente, pues el área de plantación cuenta con un sistema de riego que satisface las necesidades hídricas del cultivo en cada etapa fisiológica de su desarrollo.

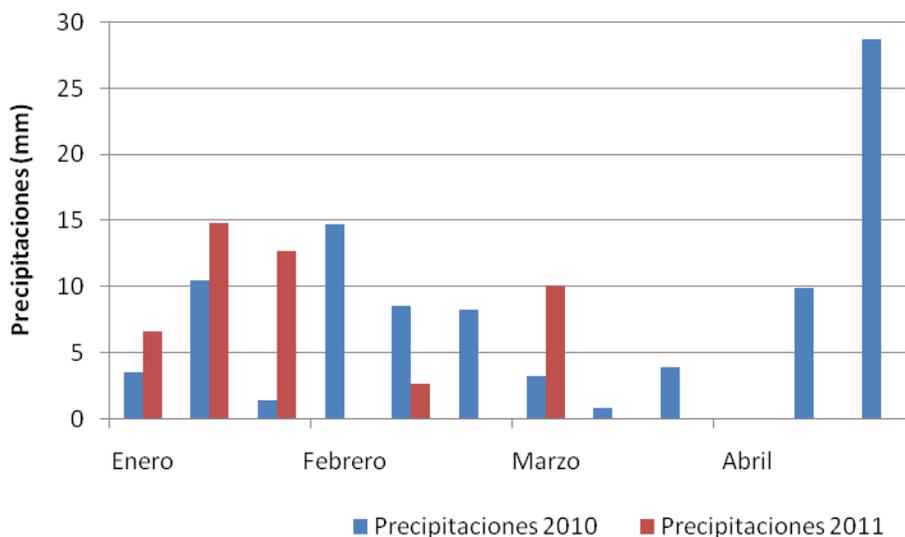


Figura 4. Valores de precipitación (mm) registrados durante el ciclo de vida del cultivo para los años en estudio.

En sentido general las variables meteorológicas favorecieron las condiciones para el desarrollo del cultivo, aunque en el año 2010 resultaron más favorables como podrá comprobarse más adelante.

Evaluación del crecimiento y desarrollo fisiológico del cultivo

El análisis del crecimiento permite evaluar los cambios que ocurren durante el crecimiento del cultivo, medir la asignación de materia seca, estimar la eficiencia de la planta y de sus órganos, y evaluar respuestas frente a cambios en el ambiente.

La duración del ciclo del cultivo es uno de los factores que debe analizarse como parte importante del desarrollo del cultivo de la papa, pues su extensión puede influir en gran medida, en el comportamiento de las variables agromorfológicas que intervienen en la formación del rendimiento a alcanzar. Para el caso de la papa está determinado por un grupo amplio de factores entre los que figuran la variedad empleada y las condiciones climáticas presentes durante la campaña; en este sentido su afectación provocará una reducción en la productividad y rendimiento del cultivo (Ferreira y Gonçalves, 2007 y Quintero, *et al.*, 2009).

En la figura 5 se presenta el comportamiento del ciclo del cultivo en los dos años de estudio, como puede observarse, la plantación del 2011 sólo llegó a 92 días, sobrepasando los 105 días en el 2010, este proceder determinó en gran medida el resultado que se alcanza en el crecimiento en general, y en particular, en el rendimiento, como se analizará posteriormente.

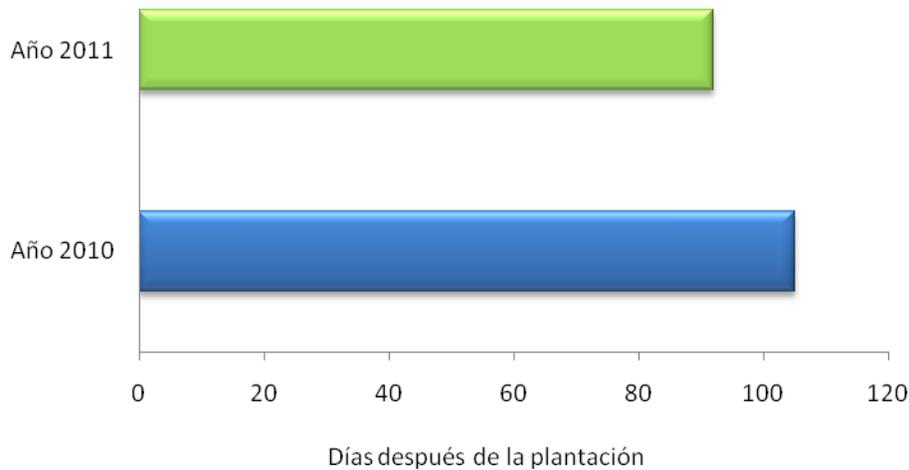


Figura 5. Comportamiento del ciclo del cultivo en las dos plantaciones consideradas.

La diferencia que se presenta en la duración del ciclo del cultivo estuvo determinada en lo fundamental, por la aparición en el segundo año, alrededor de los 65 días, de temperaturas elevadas que aceleraron el proceso de envejecimiento del follaje, unido a la proliferación de *Erwinia carotovora* que causó severas afectaciones en la superficie foliar del cultivo; lo cual no ocurrió durante el 2010.

E. carotovora es una bacteria que produce infección latente en los tubérculos semillas y se multiplica muy activamente a temperaturas altas (entre 25 y 35 °C) y alta humedad relativa (French y Gutara, 1994; García, 2000 y Bayer, 2008). Estas condiciones se presentaron durante todo el ciclo del cultivo en el año 2011, lo que propició la emergencia de la enfermedad primeramente en la variedad Spunta (tubérculos semillas hospederos) y se extendió luego a Call White; la variedad Santana resultó menos afectada, pues al parecer el material de siembra no estaba contaminado.

El análisis de la longitud media del tallo que alcanzan las plantas en los diferentes muestreos indica de forma general diferencias estadísticamente significativas ($p \leq 0,05$) entre los años evaluados para las tres variedades (Tabla 4). En el último muestreo puede apreciarse la longitud total alcanzada por las plantas donde los mejores resultados se presentaron para el primer año del cultivo.

Tabla 4. Longitud media del tallo de la planta (cm) por variedades y años estudiados en los diferentes muestreos.

Variedad	Año	Longitud media del tallo (cm)			
		28 ddp	40 ddp	60 ddp	70 ddp
Call White	2010	40,10 a	53,80 a	87,10 a	88,78 a
	2011	29,40 b	53,40 a	63,10 b	63,84 b
	ES*	2,12	1,35	4,42	2,58
Spunta	2010	30,80 a	58,16 a	83,38 a	95,20 a
	2011	27,00 a	47,5 b	67,40 b	64,80 b
	ES	1,36	2,04	3,28	5,36
Santana	2010	23,90 a	51,00 a	63,14 a	71,60 a
	2011	20,80 b	36,40 b	60,78 a	69,74 b
	ES	1,39	2,68	2,15	3,58

*ES: error estándar.

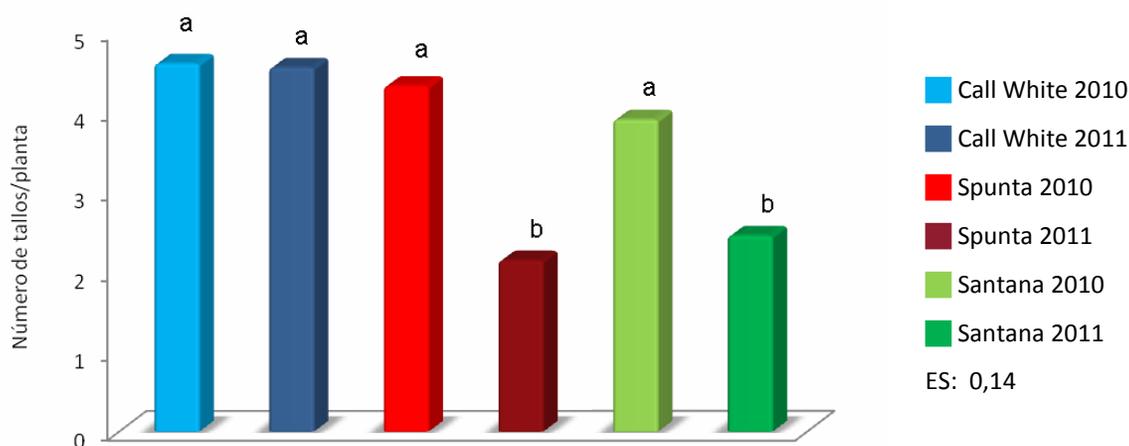
Letras diferentes en la vertical indican diferencias significativas para $p \leq 0,05$.

El número de tallos mostró una interacción significativa entre las variedades y los años (Figura 6). Los mejores valores se presentan en la variedad Call White en ambos años (4,6 y 4,55), que no difieren de las variedades Spunta (4,32) y Santana (3,9) en el 2010; pero sí con los obtenidos por estas últimas en el 2011 (2,14 y 2,45, respectivamente). Se destaca que estas dos variedades presentaron diferencias significativas entre un año y otro, lo cual no ocurrió en Call White.

Estos resultados expresan un buen desarrollo vegetativo de las plantas, además indican su adaptación a las condiciones agroecológicas de los ensayos. Estos valores son comparables a los presentados por Tedone, *et al.* (2005) y Kawakami, *et al.* (2006) aun cuando en este caso las variedades empleadas por ellos no fueron las mismas.

Esta variable se considera de gran importancia en la producción papera, debido a que un incremento en el número de tallos contribuye a un mayor desarrollo de la superficie foliar, pero no de forma proporcional en el incremento del número de tubérculos, por lo que su influencia en el rendimiento es menos directa.

Diferentes autores han planteado que esta variable puede influir en los rendimientos a alcanzar por el cultivo, así algunos, lograron mayores rendimientos en la medida que las variedades por ellos estudiadas presentaron una mayor cantidad de tallos, aún cuando en otros casos no se haya verificado este comportamiento (Quintero, *et al.*, 2009 y Zamora, Sánchez y Tua, 2008).



Letras diferentes indican diferencias significativas para la interacción entre variedades y años ($p \leq 0,05$).

Figura 6. Comportamiento del número de tallos promedio por planta en las variedades y años en estudio.

La interacción entre las variedades y los años, como se aprecia en la tabla 5, resultó significativa para el número de hojas por tallo, donde los mayores valores se alcanzan en la variedad Spunta que presenta una conducta similar en los dos años de investigación, y difiere significativamente de Call White y Santana, esta última con el menor número de hojas en la primera plantación.

Tabla 5. Número de hojas promedios por tallo en las variedades y años en estudio.

Año	Call White	Spunta	Santana
2010	12,08 b	14,38 a	9,95 c
2011	10,68 b	14,76 a	12,23 b

Letras diferentes indican diferencias significativas para la interacción entre variedades y años ($p \leq 0,05$). ES: 0,39.

Las hojas tienen un componente crítico en la planta, para inducir respuestas fotomorfogenéticas como crecimiento vegetativo, tuberización y floración. Más del 90 % del peso seco acumulado por la planta de papa se deriva de la fijación y asimilación de CO₂, a través del proceso de fotosíntesis; así la estructura de la hoja y el número de estas, son factores que pueden favorecer la actividad fotosintética de las plantas (Salisbury y Ross, 1992). Algunas variedades de papa tienen tasas fotosintéticas bajas, pero son compensadas por una superficie asimiladora y la larga duración del área foliar.

Al analizar la dinámica que sigue el número de hojas promedio por tallo (Figura 7), en las tres variedades se destaca un incremento hasta alcanzar los valores máximos, que resultaron superiores en el 2011. Debe destacarse también que el mayor número de hojas se logró de forma rápida en este mismo año (40 ddp), no así en la primera plantación que presenta un incremento moderado y consigue los mayores valores a los 60 ddp. Este comportamiento puede atribuirse a la existencia de altas temperaturas en este primer período; según Valbuena (2001) valores entre 20 y 29 °C contribuyen a la producción de mayor follaje en las plantas, se induce el desarrollo de tallos, pero las hojas son más pequeñas.

En la última fase del ciclo de vida del cultivo, comienza una franca disminución del follaje que se corresponde con el proceso de senescencia, la fotosíntesis decrece gradualmente y el follaje eventualmente muere. La caída de las hojas para la plantación del año 2011 se presenta de forma más temprana, debido además de la influencia de las temperaturas, al desarrollo acelerado de *E. caratovora*, cabe destacar que en el momento de la cosecha las variedades Call White y Spunta carecían prácticamente de follaje.

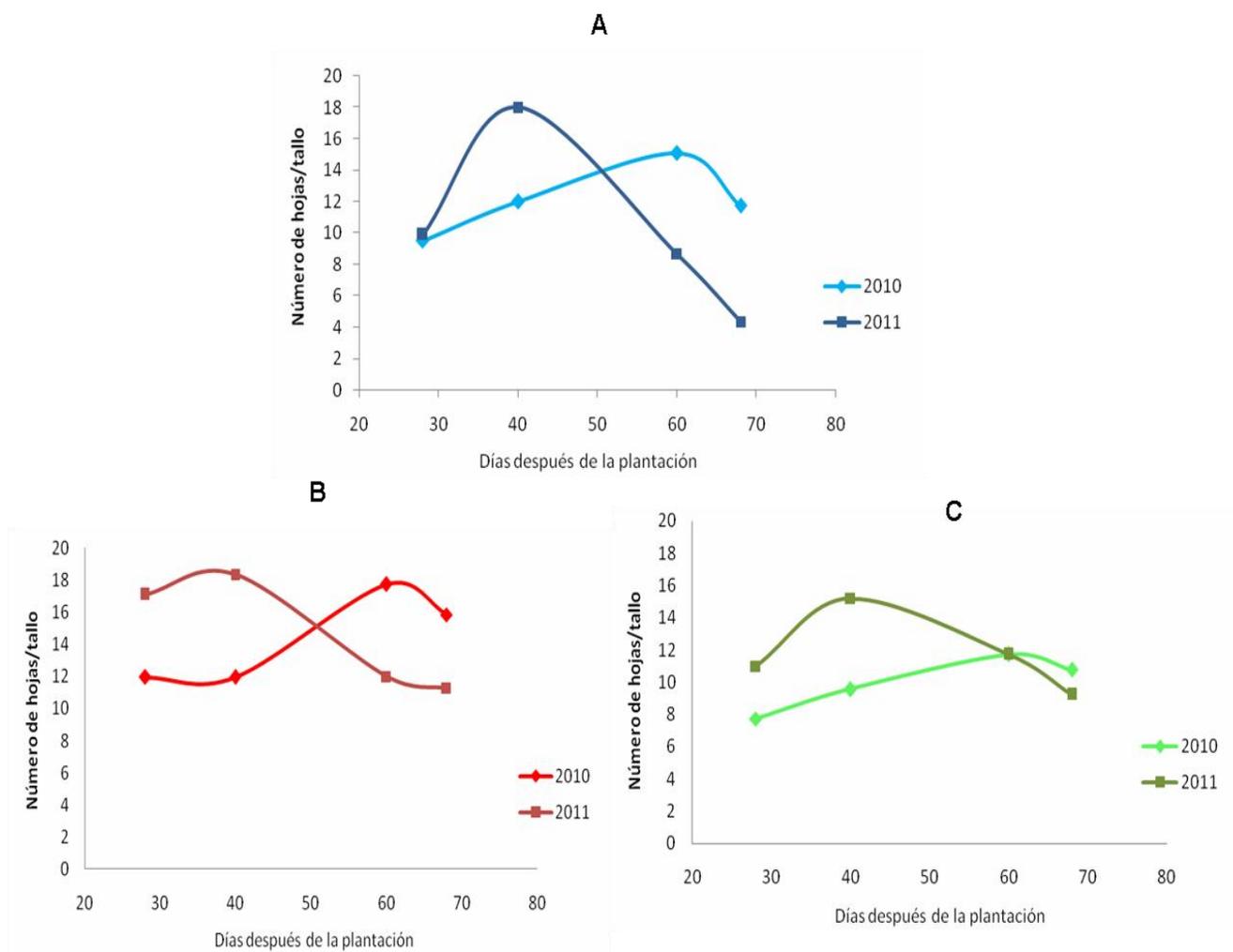
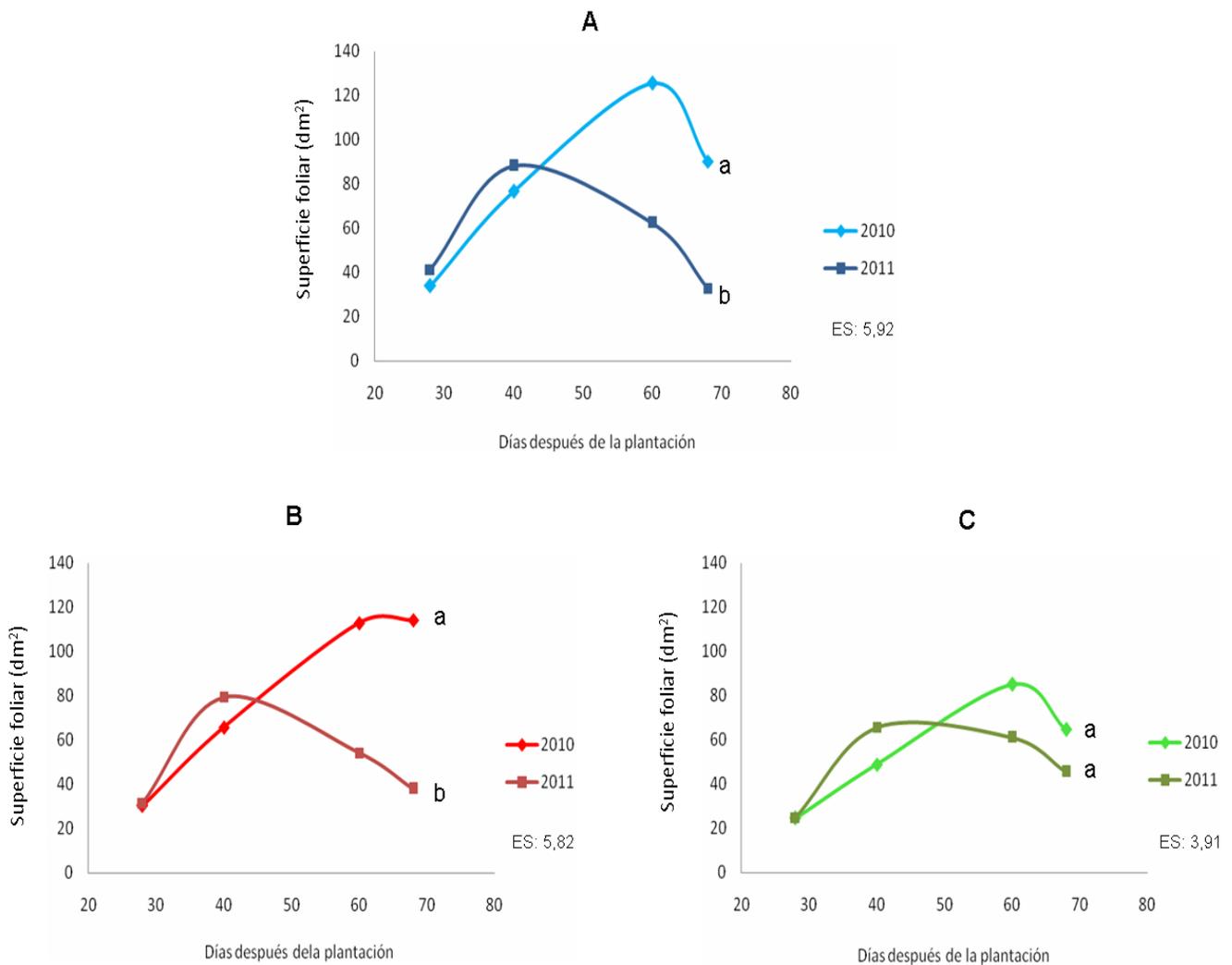


Figura 7. Dinámica del número de hojas promedio por tallo durante el ciclo del cultivo para los años y variedades en estudio. A: Call White, B: Spunta, C: Santana.

Si se tiene en cuenta que del número de hojas presentes y el desarrollo que estas alcancen, depende en gran medida el comportamiento de la superficie foliar, sería lógico entonces que este indicador presentara resultados más favorables en la plantación del 2011, sin embargo, los mayores valores se presentan para todas las variedades en la plantación del 2010. Esto está asociado en primer lugar a que los valores de esta variable no sólo dependen de la cantidad de hojas presentes en la planta, sino también del largo y ancho de las mismas, factor que influyó marcadamente en los resultados, pues aunque el número de hojas fue menor en la primera plantación, estas contaron con mayores proporciones.

Como puede observarse en la figura 8, la plantación del 2010 alcanzó valores máximos en la superficie foliar alrededor de los 65 ddp, correspondiéndose con la dinámica descrita por el número de hojas, momento a partir del cual comienza a disminuir, a diferencia del comportamiento de la segunda plantación donde se alcanza una superficie foliar máxima a los 40 ddp, comenzando desde este punto entonces un notable decrecimiento.



Letras diferentes indican diferencias estadísticamente significativas para $p \leq 0,05$ según análisis realizado en el último muestreo.

Figura 8. Dinámica del comportamiento de la superficie foliar (dm^2) en plantas de papa para los años y variedades en estudio. A: Call White, B: Spunta, C: Santana.

Existen diferencias significativas marcadas entre la superficie foliar que alcanzan Call White y Spunta en el último muestreo de ambos años, pues en ese momento para la segunda plantación presentaron afectaciones en el número de hojas activas. La variedad Santana mostró un comportamiento similar pero no se establecen diferencias en el período que se analiza.

Las temperaturas por encima de los 30 °C que se presentaron para el año 2011, propiciaron un incremento más acelerado del área foliar en esta plantación que adquiere su máxima expresión en las primeras semanas, este rápido desarrollo de la denominada fase de crecimiento II (crecimiento vegetativo) trajo consigo que se iniciara más tempranamente el llenado de los tubérculos, y por tanto se acortara el ciclo del cultivo. Todo lo contrario sucedió en la primera plantación.

En términos de desarrollo foliar, una planta de papa puede responder a condiciones ambientales cambiantes, lo cual incluye cambios en el porcentaje de aparición de hojas y ramas, el número de ramas producidas, el área específica foliar y la longevidad de la misma (Vos, 1995).

No debe olvidarse que la temperatura es un elemento central en el crecimiento de las plantas, un régimen elevado de estas en los primeros estadios puede favorecer el rápido crecimiento del cultivo (Jerez, 1991); sin embargo valores por encima de 30 °C en estadios más avanzados o luego del comienzo del proceso de tuberización, limitan la actividad fotosintética y aumentan los procesos de respiración en las plantas, afectándose la acumulación de azúcares en los tubérculos (Infantes, 2006); se aceleran además los procesos de envejecimiento y senescencia en las hojas influyendo notablemente en la reducción de la superficie foliar del cultivo.

Se ha asumido que la velocidad del incremento foliar, dado por el número de hojas presentes en algún momento y el desarrollo que estas alcancen, estará en dependencia directa del incremento de las temperaturas (Fleischer, *et al.* 2006). Por otra parte, también se ha comprobado que el tiempo que transcurre entre la aparición de una hoja y la nueva (plastocrono), puede cambiar en dependencia del comportamiento de las temperaturas extremas en una misma región, lo cual puede

variar de un año a otro, aun cuando las condiciones climáticas imperantes sigan siendo las mismas.

El área foliar es un índice importante que sugiere un buen desarrollo vegetativo en la planta para producir fotoasimilados, capacidad de cobertura del suelo para combatir malezas, así como la relación con la tasa de llenado del tubérculo (Groza, *et al.*, 2005); ya que existe una gran interacción entre la tuberización y la estructura del follaje de la planta (Struik, *et al.*, 1999).

Se ha logrado establecer una estrecha relación entre el número de hojas completamente expandidas y el tamaño que alcancen los tubérculos, lo cual debe hacerse en un estado específico del ciclo de crecimiento del cultivo (Papastylianou y Soteriou, 2008).

Por otra parte se ha comprobado que no siempre el desarrollo de la parte aérea de las plantas de papa, asegura un mayor rendimiento (Alonso, 2002), pues un excesivo crecimiento del follaje está relacionado con un desarrollo tardío de los tubérculos, mientras que el desarrollo temprano de los mismos, puede dar lugar a la presencia de un follaje menos abundante. Esto se relaciona con el movimiento y distribución de asimilados en la planta y la demanda de los sitios de consumo, en lo fundamental, los tubérculos.

La productividad de cualquier cultivo, medida como el rendimiento total en masa seca producida por unidad de área, está directamente relacionada con la intercepción total de luz y por tanto su superficie foliar. Una cobertura foliar cerrada, bien provista de agua, puede usar solamente una limitada cantidad de luz por día para la producción de materia seca, por lo tanto, la productividad final de un cultivo está estrechamente relacionada con la cantidad de días durante el cual la cobertura foliar funcione como fuente de energía sintetizada (Kupers, 1985).

La superficie foliar tiene gran importancia, pues de ella depende la intercepción de la radiación fotosintéticamente activa necesaria para la producción de biomasa, con el correspondiente aprovechamiento del potencial energético y su aporte al incremento del tamaño en masa de los tubérculos (De la Casa, Ovando y

Rodríguez, 2003), lo cual asegurará un adecuado rendimiento, en dependencia del valor que alcance el índice de área foliar (De la Casa, *et al.*, 2007).

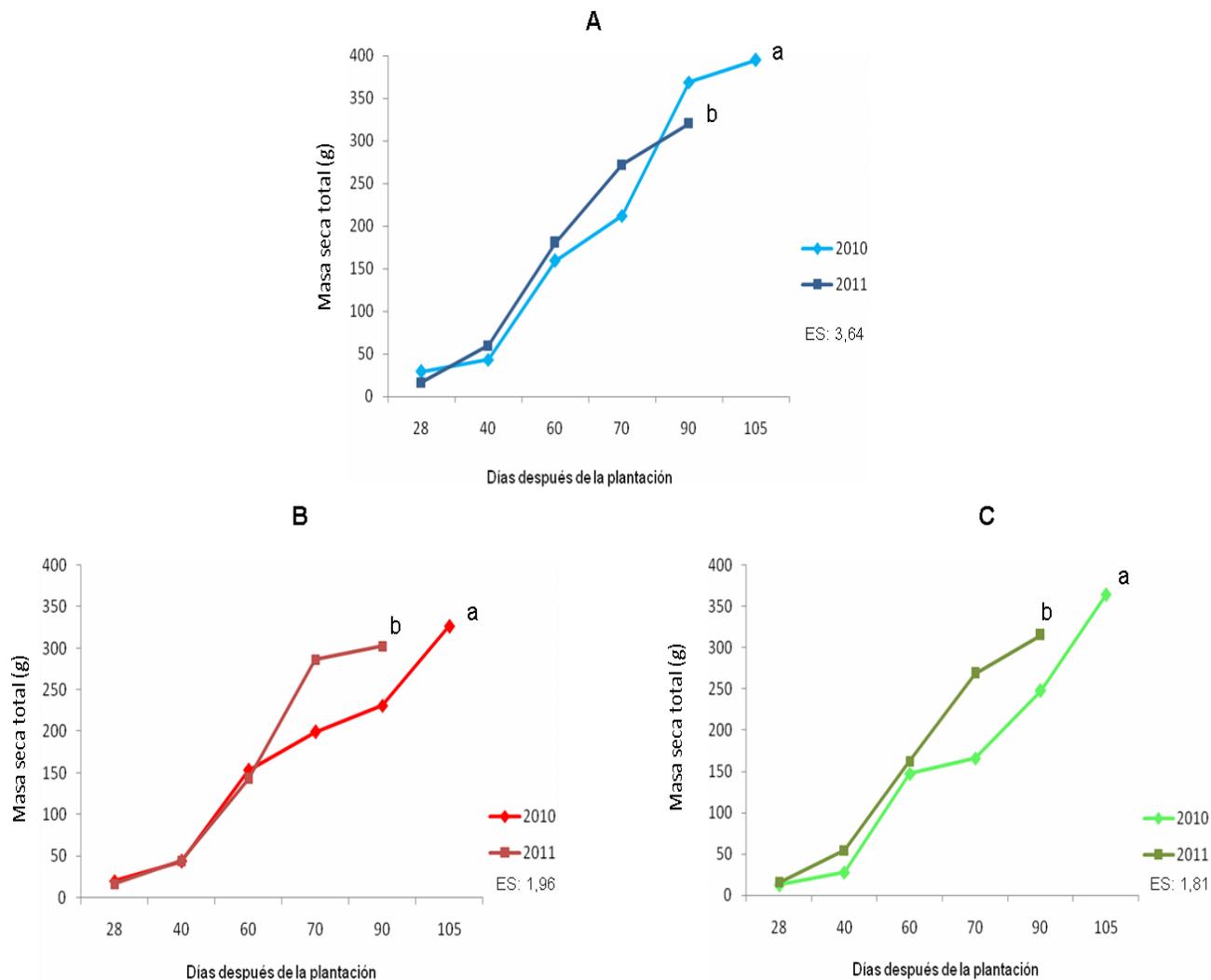
De cualquier manera, la superficie foliar a partir de la cual es posible determinar el índice de área foliar (De la Casa, *et al.*, 2008), es indispensable para estimar la productividad y el consumo de agua de los cultivos.

Jefferies y Mackerron (1989) plantearon que las diferencias en la acumulación de materia seca entre cultivares de papa puede ser atribuida a diferencias entre la cantidad de radiación interceptada y la eficiencia de su conversión en materia seca.

La acumulación de materia seca en un vegetal es un proceso que además de los factores internos de la planta, regido en este caso específico por el comportamiento de la fotosíntesis y la respiración, depende en gran medida de la relación que se establece con el ambiente. Su asimilación y distribución dentro de la planta son procesos importantes que determinan la productividad del cultivo.

En la figura 9, se presenta la dinámica de la acumulación de masa seca total durante el ciclo del cultivo.

De acuerdo con la figura, se presenta para todas las variedades un comportamiento similar en la acumulación de materia seca hasta los 60 ddp, momento a partir del cual, se destacan en la plantación del 2011 valores superiores, que sólo fueron superados por la plantación del 2010 al final del ciclo del cultivo, aun cuando en esta última la superficie foliar hasta ese momento resultó significativamente mayor; esto permite plantear que existió una mayor eficiencia en la producción de masa seca en la segunda plantación.



Letras diferentes indican diferencias estadísticamente significativas para $p \leq 0,05$ según análisis realizado en el momento de la cosecha.

Figura 9. Dinámica de la acumulación de masa seca (MS) total (g) durante el ciclo del cultivo para los años y variedades en estudio. A: Call White, B: Spunta, C: Santana.

La producción de materia seca total es el resultado de la eficiencia del follaje del cultivo en la intercepción y utilización de la radiación solar disponible durante el ciclo de crecimiento (Santos, Segura y Núñez, 2010). Sin embargo, esta eficiencia puede estar influenciada por la cantidad de radiación solar, la habilidad de las hojas para fotosintetizar, el índice de área foliar, la arquitectura de la planta, la respiración, entre otros, lo que se resume en factores internos de crecimiento

relacionados con el genotipo, y factores externos relacionados con el ambiente, la afectación por plagas y enfermedades, y las prácticas de manejo utilizadas durante el ciclo.

Después de los 60 ddp el factor más influyente desde el punto de vista de la acumulación de masa seca es el tubérculo, pues a partir de este período comienza el proceso de llenado, la mayor parte de los asimilados contenidos y producidos en las hojas comienzan a traslocarse hacia estos órganos de reserva; de ahí que al tener las variedades un ciclo más largo en la primera plantación puedan aumentar mucho más su contenido de materia seca en la última fase de vida del cultivo. En la práctica, la concentración de materia seca que se alcance en los tubérculos (Subedi y Walsh, 2009) resulta un índice útil que define su calidad y el uso que de ellos se haga para diferentes fines.

En la tabla 6 puede apreciarse la velocidad relativa de crecimiento en masa seca de los tubérculos, indicador que expresa el crecimiento en términos de incremento de masa seca por unidad de tiempo (Hunt, 1990) y permite comprender mejor lo expuesto con anterioridad.

Tabla 6. Valores promedio de velocidad relativa de crecimiento (g.día^{-1}) en masa seca de los tubérculos para las variedades y años en estudio en diferentes períodos de desarrollo del cultivo.

Variedad	Año	VRC (g.día^{-1})			
		28-40 ddp	40-60 ddp	60-70 ddp	70-90 ddp
Call White	2010	0,43	3,49	6,44	8,89
	2011	0,91	5,85	10,65	2,97
Spunta	2010	0,29	2,14	8,14	3,99
	2011	0,58	4,59	15,05	1,62
Santana	2010	0,64	2,88	5,72	4,93
	2011	1,21	5,06	10,23	3,3

La velocidad relativa de crecimiento resulta más alta en el período comprendido entre los 60 y 70 días después de la plantación, sobre todo para los valores que se alcanzan en el segundo año de estudio; esto se corresponde con el proceso de llenado de los tubérculos, momento en el cual estos órganos resultan dominantes del depósito y movilización de nutrientes orgánicos dentro de la planta (Herrera, Fierro y Moreno, 2001). Posteriormente con el inicio de la fase de maduración de los tubérculos, se hace más lenta la tasa de crecimiento de estos, como resultado de una disminución gradual de la fotosíntesis en la planta. En el 2010 la etapa de maduración comienza después, por esto el ciclo del cultivo se alarga y los incrementos de masa seca por días todavía resultan significativos.

Las altas tasas de crecimiento encontradas para la segunda plantación también pueden relacionarse con el desarrollo de *E. carotovora*, pues la afectación por esta en la parte aérea del cultivo pudo haber ocasionado una traslocación de asimilados desde las hojas hacia los tubérculos al comenzar la fase de pudrición y marchitamiento de las mismas.

Se encontraron diferencias en el comportamiento de las variedades estudiadas para los dos años en cuanto a los puntos máximos de acumulación de masa seca en los órganos de la planta. En la tabla 7 puede distinguirse el comportamiento de cada uno de ellos, en los diferentes muestreos.

La mayor acumulación de masa seca en las hojas se presentó a los 60 ddp para todas las variedades en el año 2010, destacándose Spunta con 59,9 g por planta. En general se observan mejores acumulados para este año, lo que evidencia un mejor desarrollo del follaje o aparato fotosintético. Sólo se aprecian diferencias significativas entre las variedades a los 28 y 90 ddp durante el 2010, momentos en los cuales Call White presentó el mejor comportamiento. La acumulación en los tallos muestra un comportamiento similar, con mayores valores entre los 60 y 70 ddp, con predominio para Spunta. Los tubérculos obtienen la mayor acumulación en la plantación del 2011. Para el 2010 las variedades presentan valores similares de acumulación en este órgano hasta los 70 ddp, luego ocurre un aumento considerable donde adquiere Call White los mayores incrementos (90 ddp).

Tabla 7. Valores promedio de acumulación de materia seca (g) por órgano, año y variedad de papa en los diferentes muestreos (DDP).

DDP	Variedad	Acumulación de materia seca (g)							
		PSH*		PST*		PSR*		PSTub*	
		2010	2011	2010	2011	2010	2011	2010	2011
28	Call White	15,2 a	9,17 b	10,74 a	4,65 bc	3,58 a	2,67 b	0,02 a	0,02 a
	Spunta	10,93 b	9,59 b	6,15 b	4,64 bc	2,69 b	1,94 c	0,05 a	0,06 a
	Santana	7,73 b	9,48 b	2,9 c	4,29 bc	1,96 c	1,85 c	0,10 a	0,37 a
	ES	0,51		0,41		0,11		0,10	
40	Call White	21,98 a	25,5 a	17,48 a	18,36 a	3,92 ab	4,97 a	5,1 bc	11,1 ab
	Spunta	22,39 a	20,09 a	17,28 a	13,88 ab	3,62 b	3,27 bc	3,42 c	7,06 bc
	Santana	17,41 a	24,93 a	8,31 b	12,56 ab	2,38 c	2,49 c	7,67 bc	14,91 a
	ES	1,05		0,87		0,19		0,93	
60	Call White	45,93 ab	26,9 bc	33,58 b	21,88 cd	4,78 a	3,78 ab	74,97 bc	128,06 a
	Spunta	59,9 a	25,14 c	42,49 a	15,14 d	4,67 a	3,56 ab	46,28 c	98,95 ab
	Santana	55,04 a	27,9 bc	23,65 c	15,5 d	3,82 ab	2,86 b	65,2 c	116,11 a
	ES	3,12		1,58		0,19		5,78	
70	Call White	36,11 a	18,52 c	32,82 a	15,85 bc	4,17 ab	3,49 bc	139,49 b	234,58 a
	Spunta	36,07 a	20,92 bc	30,84 a	13,05 c	4,50 a	3,04 c	127,72 b	249,40 a
	Santana	29,5 ab	26,54 bc	21,23 b	14,04 c	3,10 c	2,89 c	112,40 b	225,38 a
	ES	1,48		1,37		0,15		1,58	
90	Call White	18,85 ab	10,67 c	28,00 a	13,13 b	5,01 a	2,95 b	317,31 a	294,16 ab
	Spunta	13,38 bc	6,99 c	13,09 b	11,61 b	2,64 b	2,12 b	207,52 c	281,90 ab
	Santana	21,42 a	11,29 c	12,51 b	10,08 b	2,67 b	2,28 b	211,0 bc	291,42 ab
	ES	1,16		1,08		0,18		1,54	

* PSH: peso seco de hojas. PST: peso seco de tallos. PSR: peso seco de raíces. PSTub: peso seco de tubérculos.

Valores promedio con letras diferentes indican diferencias significativas para la interacción entre variedades y años ($p \leq 0,05$).

La partición de asimilados en plantas de papa es afectada por el fotoperíodo, la temperatura y la interacción de estas dos variables ambientales (Van Dam, Kooman y Struik, 1996). Los resultados que se obtienen responden fundamentalmente a las diferencias en el comportamiento de las temperaturas para ambos años. Para la segunda plantación los valores de temperatura máxima siempre se presentaron por encima de los 25 °C, cuestión que influyó considerablemente (Figura 1). Las máximas tasas fotosintéticas en la papa se encuentran en el rango de 15 a 25 °C, con temperaturas superiores la tasa de asimilación de CO₂ declina sustancialmente; los niveles de almidón se reducen en

las hojas, especialmente el acumulado en las maduras, se incrementa el número de entrenudos, se retrasa el comienzo del crecimiento del tubérculo y el inicio del llenado del mismo, ocasionando una disminución en la relación peso seco/peso fresco del tubérculo (Valbuena, 2001).

Se difiere de Herrera, *et al.* (2001) cuando plantean que las altas temperaturas causan incrementos significativos en la distribución de asimilados en las hojas y un decrecimiento bastante alto de fotoasimilados que se distribuyen a nivel del tubérculo, originando reducción en el suministro de carbohidratos, lo que causa reducción en la partición de masa seca en los tubérculos especialmente en condiciones de día largo.

A lo largo del ciclo del cultivo se observó el porcentaje de distribución de masa seca en los diferentes órganos: hojas, tallos, raíces y tubérculos con respecto al total que obtiene la planta, para cada año y variedad (Figura 10). Esta distribución de asimilados resulta una variable interesante para valorar el comportamiento de los sitios de producción y de consumo de los mismos.

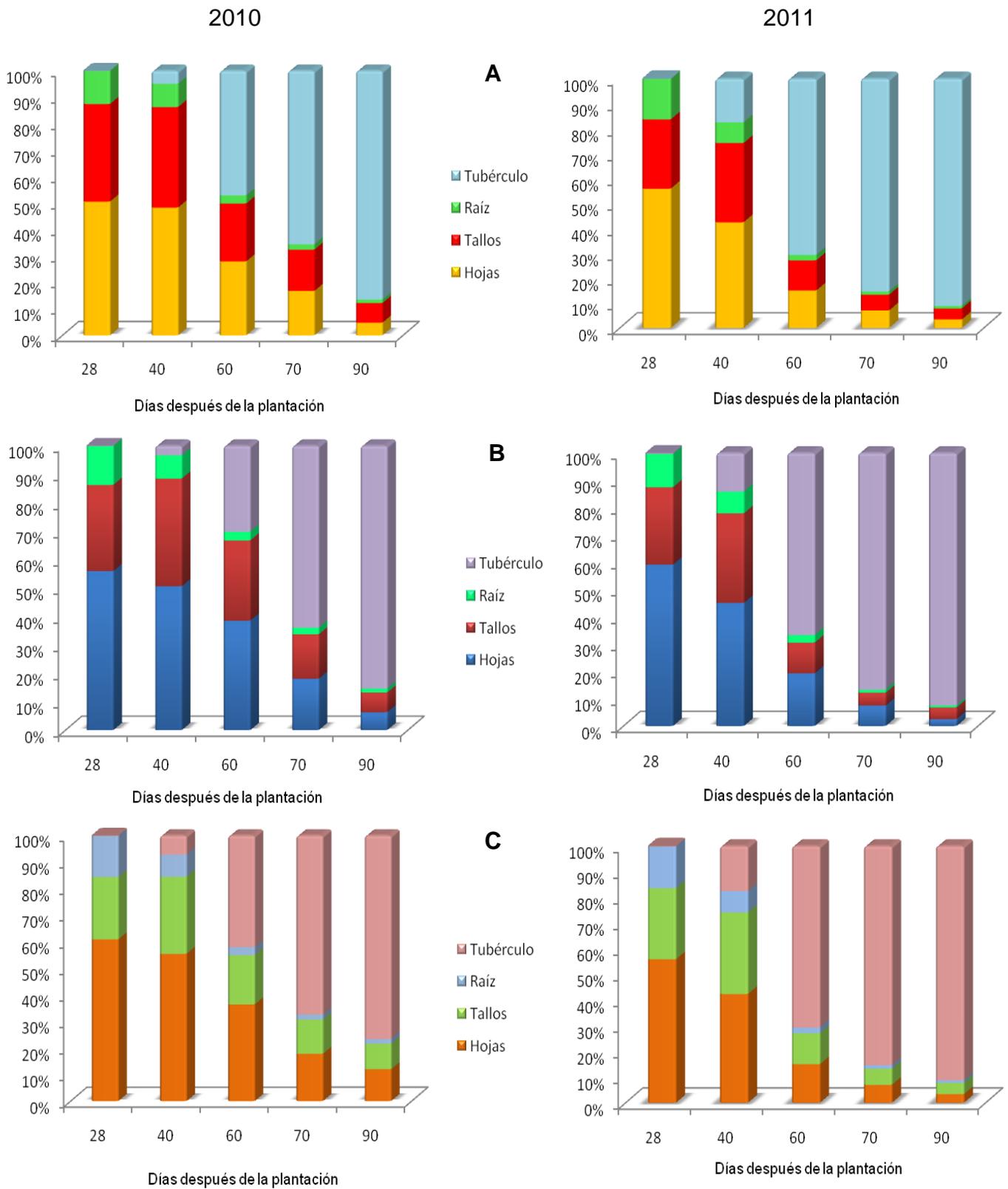


Figura 10. Dinámica del porcentaje de distribución de MS por órganos respecto al total, en las variedades y años en estudio. A: Call White, B: Spunta, C: Santana.

En la variedad Call White (Figura 10 A), a los 40 ddp las hojas contribuyeron con un 50 y 55 % al peso seco total de la planta para los años 2010 y 2011, respectivamente (mayor porcentaje de este órgano durante todo el ciclo), en esta misma etapa se observó el mayor contenido en los tallos (39 y 31 %). Después de este momento los valores en ambos órganos comienzan a disminuir. Los tubérculos aumentaron su porcentaje en materia seca respecto al total de forma progresiva, el mayor incremento para ambas plantaciones estuvo comprendido entre los 40 y 60 ddp, con un 42 % para la primera y un 53 % en la segunda; de ahí en adelante, el incremento resultó en un 20 y 10 % para el 2010 y 2011, respectivamente, hasta alcanzar a los 90 ddp un índice de cosecha de 86 y 91 %.

La variedad Spunta (Figura 10 B), alcanza el 57 % de acumulación en las hojas a los 28 ddp para ambos años y el máximo en los tallos se logra a los 40 ddp con 39 y 31 % para el primer y segundo año. Después de este período, al igual que en la variedad anterior, la acumulación en ambos órganos decrece, disminuye de forma más rápida el porcentaje en las hojas, que en los tallos. A partir de los 60 ddp los tubérculos comienzan a tomar mayor participación en el peso seco total para el año 2010, mientras que en el 2011 para esta fecha ya se alcanza el 66 %. Se logra un incremento de 30 % entre los muestreos realizados para la primera plantación, mientras que en la segunda el mayor incremento se presenta entre los 40 y 60 ddp con un 53 %, seguido por un período de poco aumento. En el último muestreo se observa un índice de cosecha más elevado para el segundo año (92 %) con respecto al primero (85 %). Entre todas las variedades evaluadas, esta presentó los mejores valores de acumulación en tubérculos.

La variedad Santana (Figura 10 C), mostró similares incrementos para ambos años, en el porcentaje de las hojas (60 %) y los tallos (31 %) a los 28 y 40 ddp respectivamente. Los porcentajes de acumulación en tubérculos resultaron superiores en el 2011, con valores significativos a partir de los 60 ddp, donde se alcanza el 70 %, este valor coincide con el máximo obtenido a los 90 ddp en el 2010. La segunda plantación resultó más favorable con un índice de cosecha de 91 % para el último muestreo. Los incrementos en las diferentes etapas fueron similares a los que se alcanzan en Call White.

En ambos años, independientemente de la duración del ciclo del cultivo y de una mayor producción de masa seca total en la primera plantación, la distribución por órganos al final del ciclo siguió un mismo patrón. En sentido general se presentan diferencias en el porcentaje de distribución de las tres variedades con respecto a los años, el 2011 muestra un mayor incremento en la acumulación sobre todo en los tubérculos, lo que se corresponde con la velocidad relativa de crecimiento analizada en la tabla 5 y los valores de acumulación de materia seca indicados en la tabla 6. Todas acumularon la mayor parte del peso seco de los tubérculos en los últimos períodos del ciclo.

El porcentaje de acumulación en las raíces fue similar en las variedades y años, se presentan valores máximos en los primeros momentos de desarrollo, después de los 40 ddp disminuyen hasta alcanzar un comportamiento estable durante el resto del ciclo biológico.

Los porcentajes de distribución de masa seca en hojas y tallos presentaron los valores máximos en las primera fase de desarrollo y luego disminuyeron en la medida en que aumentó el porcentaje de acumulación en los tubérculos, debido fundamentalmente al proceso de llenado de los mismos, es decir, a la partición de asimilados desde los tejidos fuente hacia los vertederos, coincidiendo con Wolf (1993) y Aguilar, *et al.* (2006). Similares comportamientos fueron indicados por Núñez, *et al.* (2009) y Santos, *et al.* (2010), cuando analizaron el comportamiento de cuatro variedades de papa en la región de Zimpaquirá, Colombia.

En trabajos encaminados a este tipo de estudio Sánchez-Bernal, *et al.* (2008) encontraron patrones de distribución de la materia seca similares entre cultivares por ellos evaluados, siempre con un mayor porcentaje en los tubérculos, hacia el final del ciclo del cultivo.

Se puede deducir que existen diferencias entre las variedades, en la potencia de demanda o habilidad de los tubérculos para atraer compuestos de carbono desde los órganos fuentes, de esta forma la magnitud de la potencia de la demanda varía durante el ciclo de desarrollo, en especial por factores como competencia entre los vertederos de la planta de acuerdo con Segura, Santos y Núñez (2006), donde la

asignación de masa seca a órganos como tubérculos se ve disminuida, hasta que estos logran aumentar la potencia de la demanda.

Se ha planteado que plantas con un excesivo follaje pueden presentar una distribución más gradual y menos rápida de asimilados hacia el tubérculo en comparación con otras de menos follaje (Celis-Gamboa, 2002); aspecto que coincide con el comportamiento que muestran las variedades durante la primera plantación.

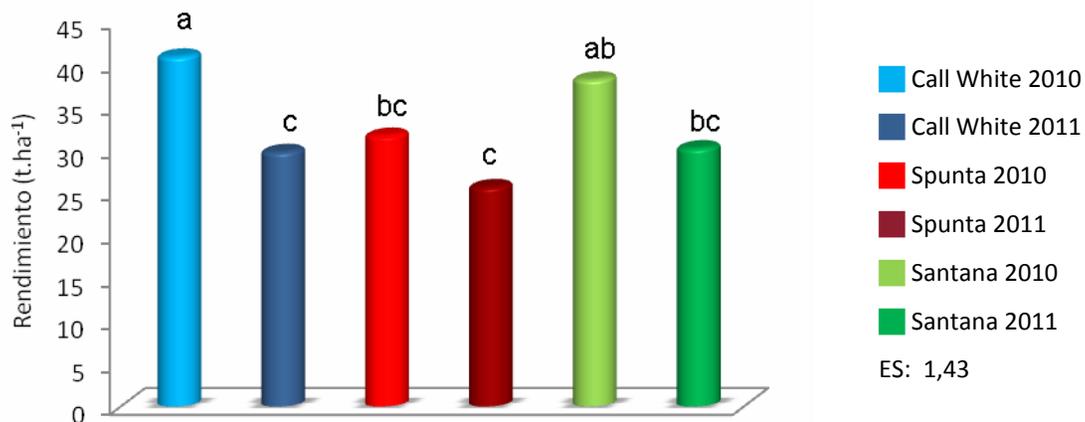
Algunos autores plantean que el proceso de partición de asimilados se puede relacionar con la precocidad de las variedades (Kooman y Rabbinge, 1996). Sin embargo las diferencias que mostraron las variedades en la acumulación, en los años evaluados, puede deberse a las diferencias en las condiciones ambientales en las que se desarrollaron y demuestran la alta interacción de las variables fisiológicas del cultivo, con el ambiente de crecimiento.

La producción de asimilados por las hojas (fuente) y el punto hasta el cual pueden ser acumulados por el sumidero, representados en este caso por los órganos que son cosechados (tubérculos), define los rendimientos (Tekalign y Hammes, 2005b).

Análisis del rendimiento alcanzado en el cultivo

En la figura 11 se presenta el comportamiento del rendimiento estimado en la cosecha ($t \cdot ha^{-1}$) durante los dos años de estudio, destacándose el año 2010 por alcanzar las tres variedades los mayores resultados, aspecto en el que además de la duración del ciclo del cultivo influyeron notablemente las diferentes condiciones climáticas.

El rendimiento más alto se presentó para la variedad Call White con $40,84 t \cdot ha^{-1}$ que no difiere estadísticamente de Santana ($38,16 t \cdot ha^{-1}$) pero si de los valores que logra Spunta, este último presentó en los dos ensayos los menores rendimientos ($31,6$ y $25,6 t \cdot ha^{-1}$ para los años 2010 y 2011, respectivamente). Valores similares se alcanzaron para esta variedad en estudios realizados por Martín, *et al.* (2010).



Letras diferentes indican diferencias significativas para la interacción entre variedades y años ($p \leq 0,05$).

Figura 11. Comportamiento del rendimiento estimado ($t.ha^{-1}$) en la cosecha por variedades y años.

En condiciones de campo donde acontecen todos los factores limitantes o no, que influyen en la producción del cultivo, el rendimiento es una respuesta a los factores meteorológicos que directamente influyen sobre la planta (Pereira, *et al.*, 2008), los mismos regulan los procesos de transpiración, fotosíntesis y respiración, de tal manera que definen el crecimiento y desarrollo del cultivo en cuestión, aun cuando las respuestas de esa interacción resultan en extremo complejas y en ocasiones difíciles de interpretar.

El comportamiento de las diferentes variables del crecimiento analizadas anteriormente, tienen una estrecha relación con el rendimiento, así como la duración del ciclo del cultivo, el cual ejerce una influencia directa en la producción que se alcanza (Iwama, 2008). La presencia de un ciclo de cultivo más largo en las variedades estudiadas para el año 2010, favoreció una mayor acumulación de materia seca en la planta, que se revierte en más productividad, sobre todo en el incremento de peso de los tubérculos en el momento de la cosecha.

La temperatura a su vez en ese año presentó condiciones más favorables para una buena tuberización, en el período de llenado de los tubérculos las

temperaturas oscilaron entre los 20–25 °C para las máximas y 10–12 °C para las mínimas. Estos valores coinciden con los expuestos por Cao y Tibbitts (1994), como los más adecuados para una mayor producción de biomasa y de tubérculos.

El rendimiento del cultivo de papa es función de la tasa de crecimiento de los tubérculos ($\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{día}^{-1}$) y del largo del período de crecimiento de los mismos (días). Esta tasa de crecimiento depende de la tasa de asimilación neta (TAN) durante las etapas II y III del cultivo que se corresponden con el crecimiento vegetativo y el inicio de la tuberización. Este indicador es directamente proporcional al IAF, por lo tanto cultivos con mayor área foliar tienen una tasa de crecimiento potencial de los tubérculos mayor que los cultivos con un área foliar reducida. Esta relación se puede apreciar perfectamente en los resultados que se obtienen, pues las variedades que para el primer año de cultivo presentaron una superficie foliar superior fueron las que lograron mejores rendimientos (Figura 8).

La cantidad de follaje formado por el cultivo no solo afecta la tasa de crecimiento de los tubérculos, sino que también tiene un efecto en la duración del período de crecimiento de los mismos. El fin del ciclo de crecimiento de los tubérculos está marcado por la senescencia del follaje. En la medida que exista un período más largo de ramificación, aparición de hojas nuevas y expansión del follaje, se puede alcanzar un IAF más alto y se retrasa en el tiempo la senescencia, alargando así el ciclo del cultivo. Las condiciones del ambiente y manejo que atrasen el inicio de la tuberización, favorecen una mayor producción de follaje, alargan el ciclo del cultivo y aumentan el potencial de rendimiento (Aldabe y Dogliotti, 1997). Esto explica por qué aunque el máximo de la superficie foliar se alcanza de forma más tardía en las variedades para el año 2010, provocando una menor tasa de acumulación de masa seca en los tubérculos hasta ese momento, se logre mayor productividad en el momento de la cosecha.

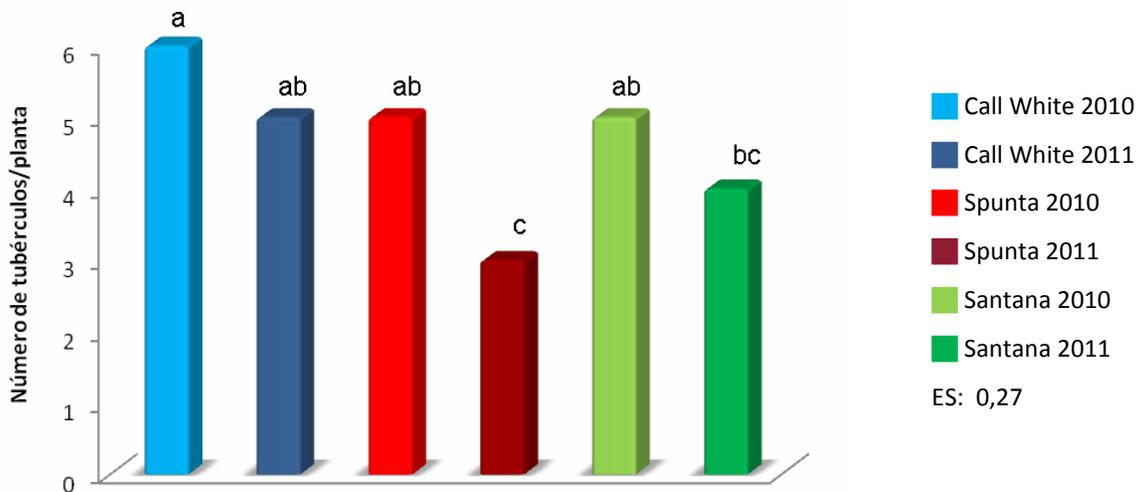
En el año 2011 los bajos resultados pueden atribuirse, además de las posibles afectaciones por las temperatura, a la disminución del área foliar ocasionada por la afectación de *E. carotovora*, lo cual puede resultar en una baja potencia de fuente y así disminuir el llenado de los tubérculos; de igual forma la disminución en la

tasa de crecimiento de los tubérculos ocasiona más bajas potencias de demanda que pueden conducir a bajos rendimientos.

Alcanzar el mayor potencial de rendimiento, depende de que se pueda efectuar una estación más larga de crecimiento. Si por la ocurrencia de fenómenos climáticos como un período de temperaturas muy altas ($>30\text{ }^{\circ}\text{C}$), o por el ataque de una enfermedad que destruya el follaje (como ocurrió en la segunda plantación), el ciclo de crecimiento se interrumpe antes de la senescencia natural de las hojas; entonces el período de llenado de los tubérculos se acorta y el rendimiento puede ser más bajo que el obtenido con un cultivo que haya formado menos follaje e iniciado antes la tuberización. Esto explica la disminución de los rendimientos obtenidos para la segunda plantación.

El rendimiento en la papa va a depender de la cantidad de tubérculos producidos por planta y del peso que alcancen los mismos. En la figura 12 se muestra el comportamiento del número de tubérculos por planta para cada año en las variedades estudiadas.

La mayor producción de tubérculos se logra en la primera campaña donde no se muestran diferencias significativas entre los cultivares evaluados. Call White resultó la variedad más destacada con 6 tubérculos por planta, y presentó el mayor porcentaje de tubérculos comerciales para ese año (92 %), en las otras, los tubérculos comerciales representaron el 87 % del rendimiento total. Aunque en el 2011 la cantidad de tubérculos para Spunta y Santana fueron menores, existió un mayor número de ellos en la categoría comercial representados por un 88 y 93 % del rendimiento total, respectivamente. Para este año el menor porcentaje lo alcanzó Call White con 87 %, aunque fue la que mejor comportamiento presentó, lo que indica mayor producción de tubérculos pequeños, de ahí que esta variable no incidiera directamente en el rendimiento alcanzado en el momento de la cosecha.

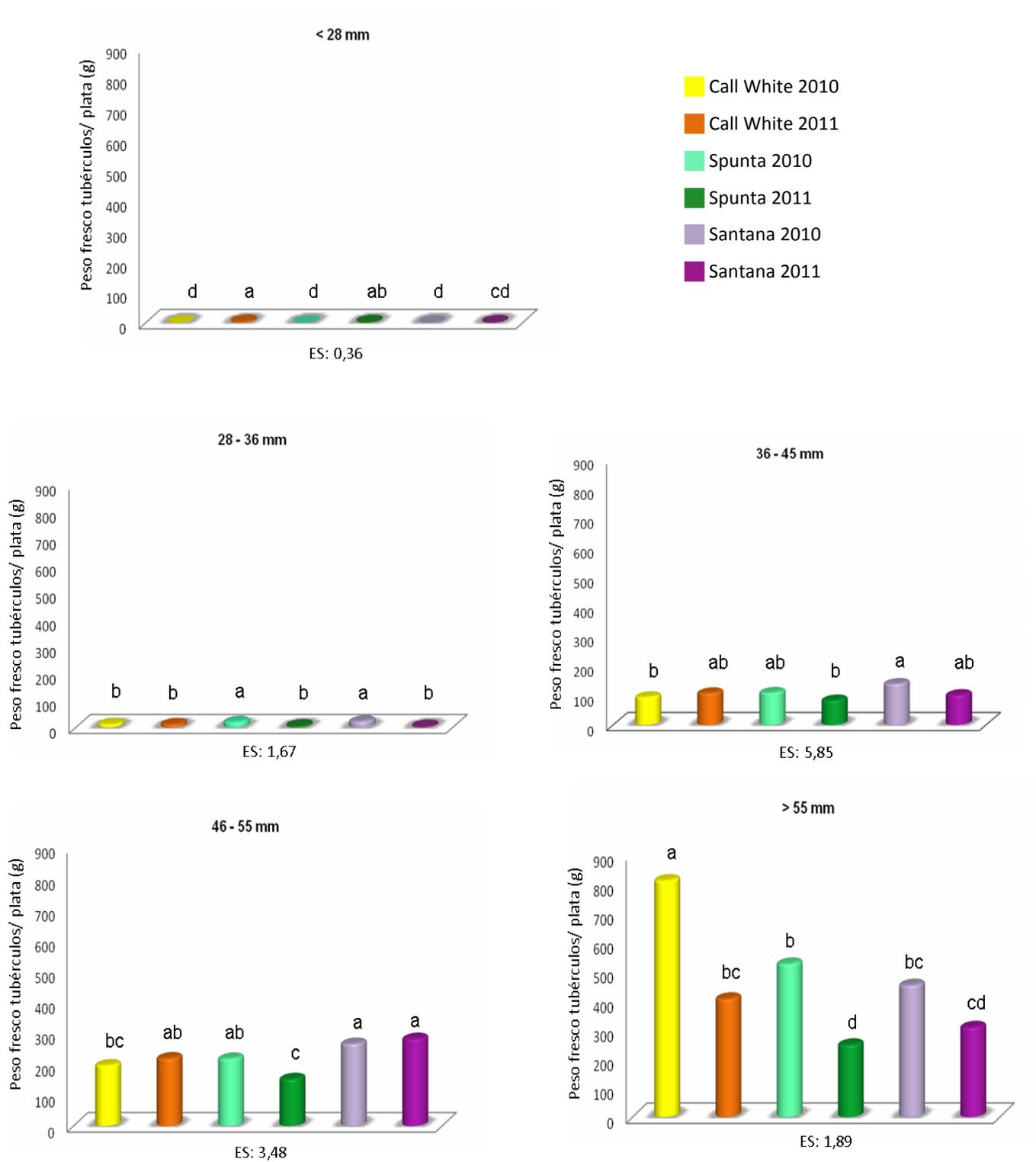


Letras diferentes indican diferencias significativas para la interacción entre variedades y años ($p \leq 0,05$).

Figura 12. Comportamiento del número de tubérculos totales por planta en la cosecha por variedades y años.

En la figura 13 se presenta el peso fresco (g) de los tubérculos por planta atendiendo a su calibre. Esta es una variable que tiene relación directa con el rendimiento que se obtiene y permite una mejor comprensión de los resultados.

Como puede apreciarse el mayor aporte al rendimiento lo hacen los tubérculos comprendidos en la categoría comercial, es decir, los que presentan calibres mayores de 36 mm. Se muestran diferencias en el peso alcanzado por los tubérculos entre las variedades y los años evaluados en las diferentes categorías, pero en sentido general el mejor comportamiento se expresa en la variedad Santana durante el año 2011 a partir de 28 mm, a excepción de los calibres de más de 55 mm, donde los mayores valores los alcanza la variedad Call White para el año 2010. El peso de esta última categoría fue el que más influyó en los rendimientos que se obtienen en la cosecha.



Letras diferentes indican diferencias significativas para la interacción entre variedades y años ($p \leq 0,05$).

Figura 13. Peso fresco de los tubérculos por planta (g) en la cosecha según su calibre en las variedades y años en estudio.

Análisis de la estimación del rendimiento en diferentes momentos y áreas muestreadas en el cultivo de la papa

En las tablas 8 y 9 se muestra el rendimiento estimado para las tres variedades en los años en estudio, y el error cometido en dicha estimación, con respecto al rendimiento que se alcanza en la cosecha para los diferentes momentos considerados.

Tabla 8. Rendimiento estimado a los 40, 60 y 70 ddp, al comparar con la cosecha y su porcentaje de error por exceso (+) o por defecto (-) para el año 2010.

Variedades	(t.ha ⁻¹) 40 Días	(t.ha ⁻¹) Cosecha	% error	Variedades	(t.ha ⁻¹) 60 Días	(t.ha ⁻¹) Cosecha	% error
Call White	6,67	40,84	- 84	Call White	25,44	40,84	- 38
Spunta	7,04	31,6	- 78	Spunta	22,59	31,6	- 29
Santana	4,44	38,15	- 88	Santana	22,13	38,15	- 42

Variedades	(t.ha ⁻¹) 70 Días	(t.ha ⁻¹) Cosecha	% error
Call White	38,15	40,84	- 7
Spunta	34,07	31,6	8
Santana	34,67	38,15	- 9

Tabla 9. Rendimiento estimado a los 40, 60 y 70 ddp, al comparar con la cosecha y su porcentaje de error por exceso (+) o por defecto (-) para el año 2011.

Variedades	(t.ha ⁻¹) 40 Días	(t.ha ⁻¹) Cosecha	% error	Variedades	(t.ha ⁻¹) 60 Días	(t.ha ⁻¹) Cosecha	% error
Call White	3,07	29,7	- 90	Call White	21,33	29,7	-28
Spunta	1,63	25,59	- 94	Spunta	19,33	25,59	-24
Santana	4,27	30,14	- 86	Santana	22,93	30,14	-24

Variedades	(t.ha ⁻¹) 70 Días	(t.ha ⁻¹) Cosecha	% error
Call White	28,52	29,7	- 4
Spunta	27,81	25,59	9
Santana	32,00	30,14	6

Se puede observar que en estadíos tempranos (40-60 ddp) los porcentajes de error fueron elevados y por defecto, sobre todo a los 40 ddp, por encontrarse el cultivo en etapa de plena formación de los tubérculos, y aun cuando se logran menores valores a los 60 ddp, estos no permiten hacer una estimación confiable pues todavía no ha concluido el llenado de los mismos.

Por el contrario, a los 70 ddp los porcentajes de error en la estimación disminuyen considerablemente y se encuentran por debajo de 10 % en las tres variedades, lo cual asegura una confiabilidad aceptable en la estimación del rendimiento; período que pudiera ser conveniente de acuerdo al estudio que se realiza. Este momento coincidió en las tres variedades con la etapa correspondiente a la maduración de los tubérculos de acuerdo con Rowe (1993); en otras variedades de ciclo del cultivo más largo sería necesario tener en cuenta este momento óptimo.

Realizar muestreos alrededor de este período del ciclo de crecimiento y desarrollo del cultivo puede asegurar al productor un acercamiento con mayor precisión, al rendimiento a obtener por la plantación en el momento de la cosecha, independientemente del efecto que los factores ambientales presentes hayan tenido en el comportamiento de esta, como ya ha sido analizado anteriormente.

Se destaca en la variedad Call White un porcentaje de error en la estimación por defecto para ambas plantaciones, por otra parte la variedad Santana para el primer año estima por defecto mientras en el segundo año supera los que se obtienen en la cosecha. En Spunta los errores en la estimación se presentan por exceso para los dos años.

Si se tiene en cuenta que la media de producción en el país es de aproximadamente 25 t.ha^{-1} , el considerar un 10 % de error adecuado para hacer estimaciones del rendimiento, solamente se alejaría del valor real en $2,5 \text{ t.ha}^{-1}$.

En la figura 14 se presentan los rendimientos que se alcanzan a los 70 ddp en las tres variedades por áreas, para los años de estudio. En sentido general no se establece una tendencia en cuanto a alcanzar mayores rendimientos al cosechar un área mayor ya que se encontró gran variabilidad en el comportamiento de las diferentes variedades para los dos años.

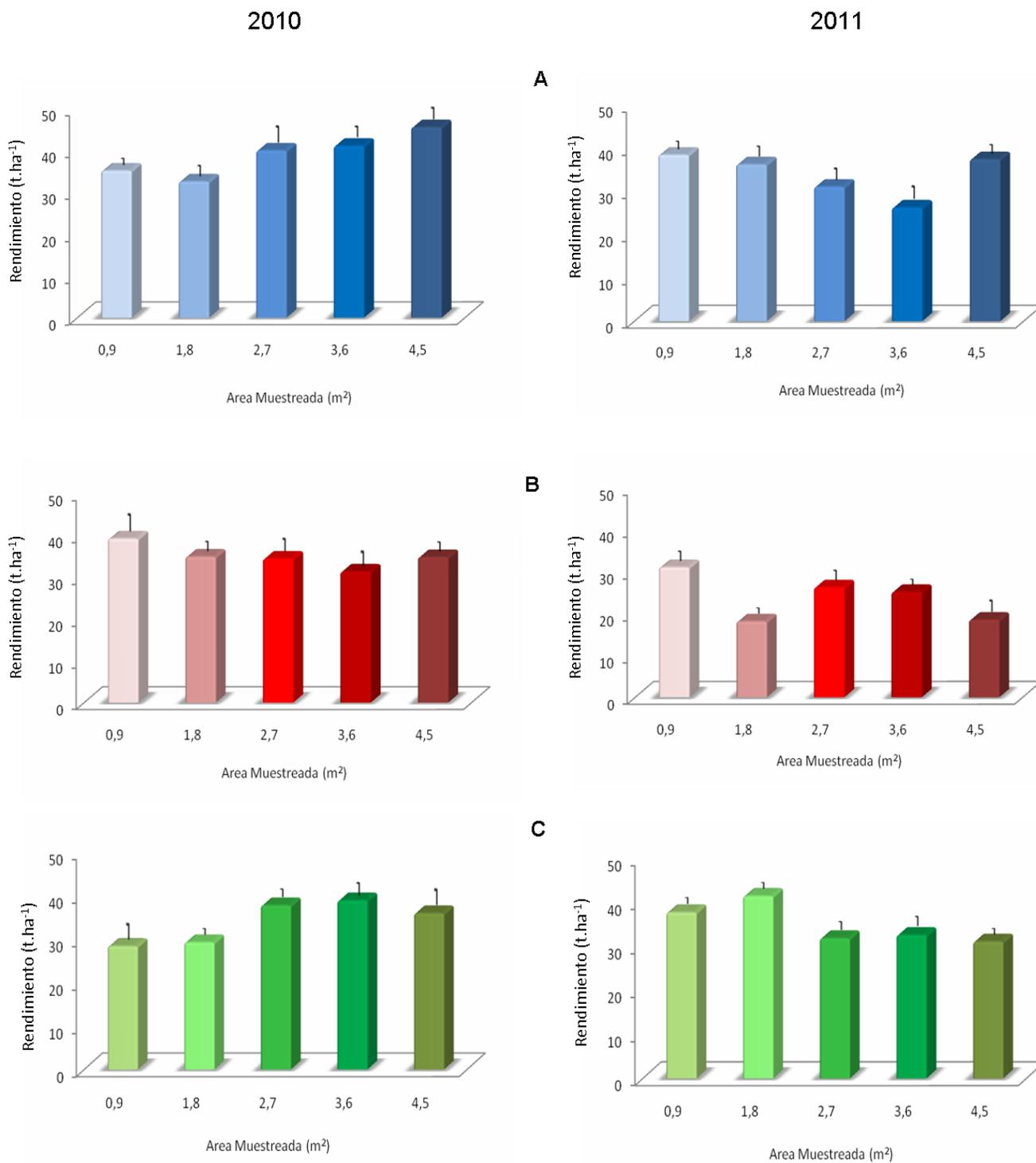


Figura 14. Comportamiento del rendimiento estimado (t.ha⁻¹) a los 70 días después de la plantación por área muestreada, en los años y variedades estudiadas. A: Call White, B: Spunta, C: Santana.

A partir de los valores que se obtuvieron al muestrear las diferentes áreas, se calcularon los porcentajes de error respecto al rendimiento que se alcanza en la cosecha, lográndose valores por debajo del 10 % cuando se consideraron áreas de muestreos entre 2,7 y 3,6 m² a las que les corresponden entre 10 y 13 plantas, respectivamente (Tabla 10 y 11). Resultados similares fueron logrados por Martín, *et al.* (2010) cuando realizaron estimaciones con estas mismas áreas, en el período comprendido entre los 50 y 70 días después de plantado el cultivo.

Tabla 10. Rendimiento estimado a los 70 ddp por área, al comparar con la cosecha y su porcentaje de error por exceso (+) o por defecto (-) para el año 2010.

Variedades	Rendimiento (t.ha ⁻¹)					% Error				
	0,90 m ²	1,8 m ²	2,7 m ²	3,6 m ²	4,5 m ²	1	2	3	4	5
Call White	35,19±1,25	32,59±2,32	40,00±2,21	41,11±3,15	45,56±3,02	-14	-20	-2	1	12
Spunta	39,26±4,56	34,92±2,56	34,44±2,65	31,36±3,54	34,81±2,30	24	11	9	-1	10
Santana	28,40±3,68	29,26±1,45	37,78±1,87	38,89±2,81	35,95±3,58	-26	-23	-1	2	-6

Tabla 11. Rendimiento estimado a los 70 ddp por área, al comparar con la cosecha y su porcentaje de error por exceso (+) o por defecto (-) para el año 2011.

Variedades	Rendimiento (t.ha ⁻¹)					% Error				
	0,90 m ²	1,8 m ²	2,7 m ²	3,6 m ²	4,5 m ²	1	2	3	4	5
Call White	38,52±1,30	36,30±2,32	31,11±1,05	26,30±2,15	37,49±3,50	33	-25	7	-9	29
Spunta	31,11±2,22	18,15±1,34	26,30±2,63	25,19±1,24	18,52±2,80	22	-29	3	-2	-28
Santana	37,78±1,80	41,48±1,26	31,85±1,98	32,59±2,76	31,11±1,58	25	38	6	8	3

Existe la tendencia a considerar como variables agronómicas para hacer estimaciones del rendimiento, el número de tallos y números de tubérculos por planta, por lo que al contar con esta información se procedió a correlacionar dichas variables con el rendimiento que se alcanzó a los 70 ddp, las cuales se presentan en las figuras 15 y 16, respectivamente.

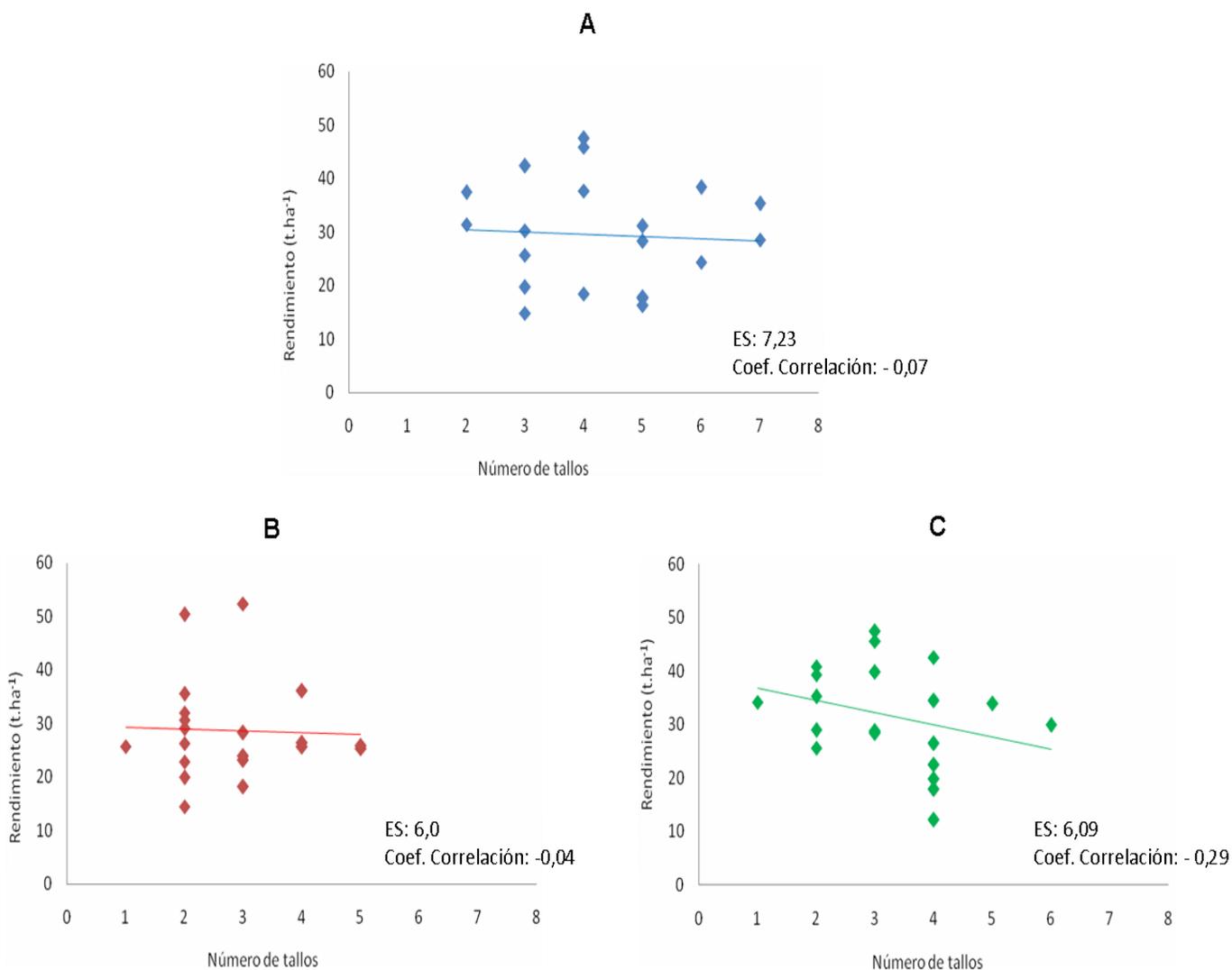


Figura 15. Análisis de la correlación existente entre el número de tallos y el rendimiento estimado por planta a los 70 ddp en las variedades estudiadas. A: Call White, B: Spunta, C: Santana.

Se puede observar que en ambos casos estas correlaciones resultaron no significativas para el 95 % de confiabilidad, por lo que no resulta aconsejable realizar estimaciones del rendimiento a partir del empleo de estas variables agronómicas.

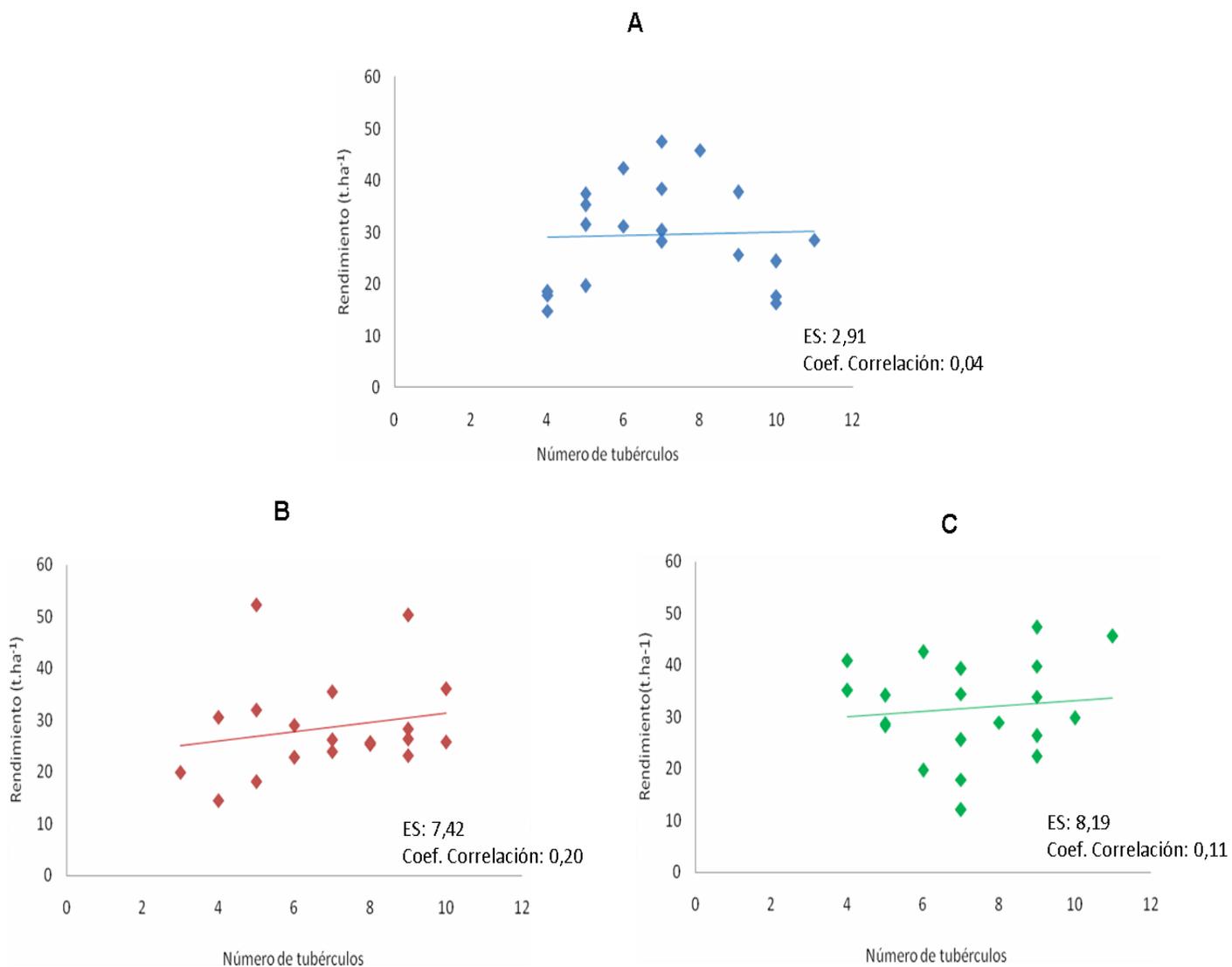


Figura 16. Análisis de la correlación existente entre el número de tubérculos y el rendimiento estimado por planta a los 70 ddp en las variedades estudiadas. A: Call White, B: Spunta, C: Santana.

Los resultados demuestran también que contar con un mayor número de tallos asegura una mayor cantidad de tubérculos por planta, pero estos no serán lo suficientemente grandes como para incrementar los rendimientos, aspecto observado en las tres variedades en estudio.

Conclusiones

- Resultaron variables determinantes en la formación del rendimiento de la papa: el ciclo del cultivo, el área foliar y la capacidad de distribución y acumulación de biomasa seca hacia los tubérculos, sobre los que influye de forma importante la variabilidad de las condiciones climáticas imperantes durante la plantación.
- Contar con temperaturas más elevadas en los primeros estadíos del crecimiento de las plantas aceleró el desarrollo foliar, propiciando una disminución del ciclo del cultivo, así como una mayor acumulación de masa seca en los tubérculos.
- Las variables agromorfológicas número de tallos y número de tubérculos por planta empleadas en la estimación del rendimiento, no resultaron adecuadas, al no ser significativo el coeficiente de correlación que se obtiene.
- Al estimar, resultaron convenientes los muestreos realizados en las etapas iniciales de la maduración del tubérculo, considerando entre 10 y 15 plantas por variedad a las que corresponden áreas de 2,7 y 3,6 m², respectivamente; lo cual conduce a estimaciones más confiables con porcentajes de error con respecto al rendimiento real por debajo de un 10%.

Recomendaciones

- Emplear para la estimación del rendimiento, muestreos en la fase de maduración de los tubérculos (70 ddp para variedades con ciclo de cultivo entre 90-105 días) utilizando para ello entre 10 y 15 plantas por cada variedad.
- Realizar estudios similares empleando otras variedades que presenten ciclos de cultivo más largos y en otras condiciones agroecológicas.
- Continuar estudios encaminados a la modelación y simulación del rendimiento a partir de diferentes variables agromorfológicas y fisiológicas.

Bibliografía

- Agramonte, D. 1999. Métodos biotecnológicos para la producción de semilla original de papa. Villa Clara. 96 h. Tesis (en opción al grado científico de Doctor en Ciencias Agrícolas). Universidad Central de las Villas “Marta Abreu”.
- Aguilar, Ma. Guadalupe, Carrillo, J. A., Rivera, A. y González, V. 2006. Análisis del crecimiento y de relación fuente-demanda en dos variedades de papa (*Solanum tuberosum* L.). Rev. Fitotec. Mex. Vol. 29 (2): 145 – 156.
- Aldabe, L. y Dogliotti, S. 1997. Bases fisiológicas del crecimiento y desarrollo del cultivo de la papa (*Solanum tuberosum* L.). Uruguay. Universidad de la República, Facultad de Agronomía. (Material en formato electrónico) 16 h.
- Alonso, J.L. 2002. Ecofisiología del rendimiento de la planta de papa. Boletín de la Papa 4, No. 11.
- Ballesteros, P. E. 1997. Análisis del crecimiento en el frijol común (*Phaseolus vulgaris*). Colegio de Postgraduados. Montecilo. México. 71 p.
- Bayer. *Erwinia carotovora*. [en línea] 2008. Disponible en: <http://www.bayercropscience.com.pe>. [consulta: octubre 2011].
- Beadle, C. F. 1988. Análisis del crecimiento vegetal. En: Coombs, J., Hall, D.O., Long, S. y Scurlock J.M. (Eds.). Técnicas en fotosíntesis y bioproductividad. Colegio de postgraduados. Chapingo, Edo. de México, México.
- Bonierbale, M.; Amorós, W.; Espinosa, J.; Li, X. Q. y Walter, T. 2001. Estrategias y desafíos para el mejoramiento de la papa para procesamiento. CIP, Lima, Perú, 12 p.
- Borrego, F., Fernández, J. M., López, A., Parga, V. M., Murillo, Margarita y Carvajal, A. 2000. Análisis del crecimiento en siete variedades de papa (*Solanum tuberosum* L.). Agronomía Mesoamericana 11 (1): 145 – 149.
- Buckenhuskes, H. J. 2005. Nutritionally relevant aspects of potatoes and potato constituents. In: Haver Kort, A. J. y Struik, P. C. (Eds) Potato in progress.

- Science meets practice. Wageningen Academic Publisher. The Netherlands. p. 17 – 26.
- Cao, W. y Tibbitts, T. W. 1994. Phasic temperature change patterns affect growth tuberization in potatoes. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* 119: 775 – 778.
- Castillo, J. G. 2000. Estimación de la variabilidad genética en poblaciones híbridas de papa (*Solanum tuberosum* L.). La Habana. 72 h. Tesis (en opción al título de Máster en Ciencias). Universidad Agraria de La Habana. INCA.
- Castillo, J. G. 2010. Estimación de la variabilidad genética del germoplasma de papa (*Solanum* L. secc. Petota) en Cuba, para caracteres de interés agrícola. La Habana. 149 h. Tesis (en opción al grado científico de Doctor en Ciencias). Instituto Nacional de Ciencias Agrícolas.
- Celis-Gamboa, B. C. 2002. The life cycle of the potato (*Solanum Tuberosum* L.) from crop physiology to genetics. The Netherland. 191 h. Thesis Doctoral. Wageningen University.
- CIP. 1995. Producción sostenible y protección de los recursos naturales. Circular CIP, Lima, Perú. 21 (1): 20 p.
- Contreras, A. Método para estimar rendimiento en cultivos de papa. En: Red Electrónica de la Papa. [en línea] 2011. Disponible en: www.redepapa.posterous.com. [consulta: octubre 2011].
- De la Casa, A., Ovando, G., Bressannini, L., Rodríguez, A. y Martínez, J. 2007. Uso del índice de área foliar y del porcentaje de cobertura del suelo para estimar la radiación interceptada en papa. *Agricultura Técnica (Chile)*, 67: 78-85.
- De la Casa, A., Ovando, G., Bressannini, L., Martínez, J., Ibarra, E. y Rodríguez, A. 2008. El índice de área foliar en papa estimado a partir de la cobertura del follaje. *Agronomía Trop.* 58(1): 61-64.
- De la Casa, A., Ovando, G., Bressanini, L., Martínez, J. y Rodríguez, A. 2011. Eficiencia en el uso de la radiación en papa estimada a partir de la cobertura del follaje. *AGRISCIENTIA*, 28: 21-30.

- De la Casa, A., Ovando, G. y Rodríguez, A. 2003. Estimación de la radiación solar global en la provincia de Córdoba, Argentina, y su empleo en un modelo de rendimiento potencial de papa. RIA, 32 (2): 45 – 62.
- Deroncelé, R.; Salomón, J. L.; Manso, F.; Linares, J. L.; Santos, R.; Roque, R.; González, P.; Navarro, H. y Taberas, O. 2000. Guía técnica para la producción de papa en Cuba. Instituto de Investigaciones Hortícolas “Liliana Dimitrova”. La Habana. 42 p.
- Digmer, J. 2004. Calidad de la papa para usos industriales. CORPOICA. Colombia. 7 p.
- Dwelle, R. 1990. Source/sink relationships during tuber growth. American Potato Journal 67(12): 829–833.
- Echenagusía, R. A. Indicadores bioquímicos y tasas del crecimiento en la micropropagación in Vitro del plátano. [en línea] 1999. Disponible en: <http://www.isch.edu.cu/biblioteca/anuario1999/echenugosia.htm> [consulta: mayo 2011].
- Estévez, Ana.; González, María Elena.; Castillo, J.; Cordero, M.; Ortiz, E.; Ortiz, V.; Hernández, M. M. y Quiñones, Y. 2006. Informe final proyecto PNCT “Obtención de variedades de papa tolerantes al estrés biótico y abiótico”. Cod. 015 – 00077. INCA. 203 p.
- Estévez, Ana.; González, María Elena.; Castillo, J y Salomón, J. L. 2005. Mejoramiento genético. En: Estévez, Ana. El cultivo de la papa en Cuba. Instituto Nacional de Ciencias Agrícolas, La Habana: 71–124.
- Estévez, Ana.; González, María Elena.; Nimubora, N. y Castillo, J. 1996. Obtención y evaluación de progenies de semilla sexual de papa. Parte I. Cultivos Tropicales. 17 (1): 60 – 64.
- Estévez, Ana; Guerra, J. P. y Manso, F. 2005. Introducción, desarrollo y evolución de la papa en Cuba. En: Estévez, Ana. El cultivo de la papa en Cuba. Instituto Nacional de Ciencias Agrícolas, La Habana: 17– 24.

- Estévez, Ana. 2005. El cultivo de la papa en Cuba. Instituto Nacional de Ciencias Agrícolas, La Habana, 630 p.
- Estrada, N. Mejoramiento para procesamiento y calidad culinaria. Revista electrónica de la papa (REDEPAPA). 3 (23). [en línea] 2001. Disponible en: www.redepapa.org. [consulta: mayo 2011].
- FAOSTAT. 2008. Boletín especial de la FAO. No. 24. 27 de agosto de 2008.
- FAO. La Papa tesoro enterrado. El cultivo. Año Internacional de la Papa. [en línea] 2008. <http://www.potato2008.org/es/lapapa/cultivo.html>. [consulta: abril 2011].
- FAO. La Papa tesoro enterrado ¿Por qué la papa? Año Internacional de la Papa. [en línea] 2008. Disponible en: www.potato.2008.org. [consulta: mayo 2011].
- FAO. 1996. Draft report on the State of World's Plant Genetic Resources. Roma. 35 p.
- Ferreira, T.C. y Gonçalves, D.A. 2007. Crop-yield/water-use production functions of potatoes (*Solanum tuberosum*, L.) grown under differential nitrogen and irrigation treatments in a hot, dry climate. Agric. Water Manag. 90 (1/2):45-55.
- Fleischer, D.H., *et al.* 2006. Approaches to Modelling Potato Leaf Appearance Rate. Agron. J. 98:522-528.
- Foie, C. y Paul, M. 2001. Source – Sink Relationships. In: Encyclopedia of Life Sciences. Nature Publishing Group, United Kingdom. 11 p.
- French, E. R. y Gutara, L. 1994. Pudrición blanda y pierna negra causadas por *Erwinia*. En: Memorias del taller sobre enfermedades bacterianas de la papa. Centro Internacional de la Papa (CIP). Lima, Perú, 53p.
- García, Rosaima. 2000. Especies y sub-especies de *Erwinia* causantes de pudrición blanda y pierna negra en la papa cultivada, en el estado Mérida – Venezuela. Rev. Forest. Venez. 44 (1): 107 – 114.
- Gómez, C., Buitrago, C., Cante, M. y Huertas B. 1999. Ecofisiología de papa (*Solanum tuberosum*) utilizada para cultivo fresco y para la industria. Revista Comalfi 26(1-3): 42-55.

- Gómez, P. y Wong, D. 2000. Procesamiento de la papa. Revista Agroecológica "INDOAGRO". Lima, Perú. 1 (5): 3–7.
- González, M. E. 1998. Mejoramiento por hibridación de la papa (*Solanum tuberosum* L.) en Cuba. La Habana. 71 h. Tesis (en opción al grado científico de Doctor en Ciencias Agrícolas). Instituto Nacional de Ciencias Agrícolas.
- Gordon, R., Brown, D. M. y Dixon, M. A. 1997. Estimating potato leaf area index for specific cultivars. Potato Res. 40: 251– 266.
- Groza, H. I., Bowen, B. D., Peloquin, S. J., Stevenson, W. R., Bussan, A. J. y Jiang, J. 2005. Millennium Russet: A dual purpose Russet Potato variety. American Journal of Potato Research. 82: 211 – 219.
- Guerra, J. P. 1991. El origen de la papa. En: El cultivo de la papa. Cuba. Tomo I. MINAGRI, 89 p.
- Hawkes, J. G. 1990. The potato – evolution, biodiversity and genetic resources. Belhaven Press, Oxford, UK.
- Hawkes, J. G. 1994. Origins of Potatoes and Species Relationships. En: Potato Genetics, Wallingford, CBA International, England, pp 3 – 43.
- Hernández, A., Pérez, J., Ascanio, O., Ortega, F., Avila, L., Cárdenas, A., Marrero, A. 1999. Nueva versión de la clasificación genética de los suelos de Cuba. Agroinform. La Habana. 64 p.
- Herrera, C. A., Fierro, L. H. y Moreno, J. D. 2001. Manejo Integrado del Cultivo de la Papa. Manual Técnico. Ediciones CORPOICA. Bogotá D.C. 178 p.
- Herrera, J. A. y Moreno, V. 2005. Nutrición y fertilización de la papa. En: Estévez, Ana. El cultivo de la papa en Cuba. Instituto Nacional de Ciencias Agrícolas, La Habana: 490 – 591.
- Hertog, A. T. M.; Putz, B. y Tijskens, L. M. M. 1997. The effect of harvest time on the accumulation of reducing sugar during storage of potato (*Solanum tuberosum* L.) tubers: Experimental data described, using a physiological based, mathematical model Potato Research. 40 (1): 169 – 178.

- Hunt, R. 1981. Plant growth analysis. By Edward Arnold (Publishers) Ltd. The institute of biology's studies in biology N° 96. London, England. 67 p.
- Hunt, R. 1990. Plant growth analysis. Academic Division of Published by the Urwin Hyman Ltda. Basic Growth Analysis. London. p. 26 – 60.
- ID – 56. 1998. Midwest Vegetable Production Guide for Comercial Growes. (ed. Foster, R.; Latin, J.; Simon, J.; Weller, S.; Weinzierl, R.; Taber, H.; Barret, B.). University Cooperative Extension Serevice (1996, 1997 y 1998).
- Infantes, Erika. Papa. [en línea] 2006. Disponible en: <http://www.monografias.com/trabajos35/papa/papa.shtml>. [consulta: abril 2011].
- Iwama, K. 2008. Physiology of the Potato: New Insights into Root System and Repercussions for Crop Management. Potato Research, 51: 333-353.
- Jefferies, R. A. y Mackerron, D.K.L. 1989. Radiation interception and growth of irrigated and droughted potato (*Solanum tuberosum*). Field Crop Res. Amsterdam. 22: 101 – 112.
- Jerez, E. I. 1991. El abastecimiento hídrico al suelo y su efecto sobre el desarrollo y las relaciones hídricas en el cultivo de la papa (*Solanum tuberosum* L.) La Habana. 173 h. Tesis (en opción al grado científico de Doctor en Ciencias Agrícolas) Instituto Nacional de Ciencias Agrícolas.
- Jerez, E. y Martín, R. 2010. Relación entre el crecimiento y rendimiento en papa (*Solanum tuberosum* L.) cultivar Spunta. En: Memorias del XVII Congreso Científico Internacional del Instituto Nacional de Ciencias Agrícolas (INCA), San José de la Lajas, La Habana. ISBN 978-959-7023-48-7, 9 p.
- Kadaja, J. y Tooming, H. 2004. Potato production model base don principle of maximum plant productivity. Agric. For. Meteorol. 127:17-33.
- Kawakami, J., Iwama, K. y Jitsuyama, Y. 2006. Soil water and growth and yield potato plant grown from microtuber and conventional seed tubers. Field Crop Research. 95: 89 – 96.

- Keli, L., Julin, G., HiZhong, S. y Jinhua, S. 2004. Correlation between source supply and sink volume of potato. *Chinese Potato*. 18: 4 – 8.
- Kolasa, M. K. 1993. The Potato and Human Nutrition. *Amer. Pot. Jour.* 70: 375 – 384.
- Kooman, P.L. y Haverkort, A.J. 1995. Modelling development and grown of the potato crop influenced by temperature and daylength: LINTUL-POTATO. In: Haverkort, A.J. y Mackerron, D.K.L. (Ed.). *Potato ecology and modelling of crops under conditions limiting grown*. Boston: Kluwer Academic Publ. p. 41-60.
- Kooman, P y Rabbinge, R. 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.
- Kupers, L. 1985. Fertilization and crop rotation of potatoes: a theory and recommendation. *International Potato Course Holanda*. 7 p.
- Lafta, M. A. y Lorenze, H. T. 1995. Effect on high temperatura on plant growth and carbohydrate metabolism in potato. *Plant physiology*. 109 (2): 637 – 643.
- López, M., Vázquez, E. y López, R. 1995. *Raíces y tubérculos*. Editorial Pueblo y Educación. Cuba. 312 p.
- Luján, L. 1994. La ecología de la papa. *Revista Papa*. 12: 4 – 16.
- Manrique, L. A. 1993. Constraints for potato production in the tropics. *J. Plant Nutr.* 16: 2075 – 2120.
- Manso, F. 2009. Informe final de la campaña de papa 2008 – 2009. MINAGRI, 32 p.
- Martín, R., Jerez, E., de la Rosa, Yenisel y Gerrero, A. 2010. Formación del rendimiento en papa (*Solanun tuberosum* L.) y su estimación a partir de

- diferentes variables. En: Memorias del XVII Congreso Científico Internacional del Instituto Nacional de Ciencias Agrícolas (INCA), San José de la Lajas, La Habana. ISBN 978-959-7023-48-7, 4 p.
- Montheith, J. L. 1994. Validity of the correlation between intercepted radiation and biomass. *Agric. For. Meteorol.* 68: 213 – 220.
- Moorby, J. 1970. The production, storage and translocation of carbohydrates in developing potato plants. *Ann. Bot.* 34: 297 – 308.
- Navarro, F. (2000). Etimologías. Patata (I). *Revista Rinconete*. Centro Virtual Cervantes. Instituto Cervantes. España.
- Nganga, S. 1982. Physiological basis of potato crop yield: principles. In: Nganga, S. and Shideler, F. (Eds.). *Potato Seed Production for Tropical Africa*. International Potato Center: 13 – 16.
- Niño, L., *et al.*, 2006. Mejoramiento participativo de variedades de papa en el estado Mérida - Venezuela. En: Memorias XXII Congreso ALAP. Toluca. México.
- Ñústez, C. E., Santos, Marcela y Segura, Mariela. 2009. Acumulación y distribución de materia seca de cuatro variedades de papa (*Solanum tuberosum* L.) en Zipaquirá, Cundinamarca (Colombia). *Rev. Fac. Nat. Agr. Medellín* 62 (1): 4823 – 4834.
- Ochoa, C. M. 1990. *The Potatoes of South America*. Cambridge University Press. 503 p.
- Papastylianou, I. y Soteriou, G. 2008. Estimating Maximum Tuber Length of Potato Based on the Number of Fully Expanded Leaves. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*. 39(9/10): 1460-1466.
- Pereira, A.B., Villa Nova, N. A., Ramos, V. J. Y Pereira, A. R. 2008. Potato potential yield based on climatic elements and cultivar characteristics. *Bragantia*, Campinas, 67(2): 327-334.
- Petryk, N. E. Entre papas y patatas. [en línea] 2005. Disponible en: www.alimentacion-sana.com.ar. [consulta: septiembre, 2011].

- Quintero, I., Montero, F., Zambrano, J., Meza N., Maffei, M., Valera, A. y Álvarez, R. 2009. Evaluación de once clones promisorios de papa (*Solanum tuberosum* L.) en el Estado Trujillo. I. Crecimiento, desarrollo y rendimiento. Rev. Fac. Agron. (LUZ), 26:362-381.
- Raddford, P.J. 1967. Growth analysis formula - their use and abuse. Crop Sci. 7(3): 171-175.
- Ramos, R. E. Impacto de la papa a nivel nacional y mundial. [en línea] 2006. Disponible en: <http://www.monografias.com/trabajos35/la-papa/la-papa.shtml>. [consulta: mayo, 2011].
- Reta, S. y David, G. 1996. Crecimiento y aprovechamiento de la energía solar del frijol (*Phaseolus vulgaris* L.) en asociación con maíz (*Zea mays* L.). Tesis de MC Botánica. Colegio de Postgraduados. Chapingo. Mex. 206 p.
- Rodríguez, A., de la Casa, A., Accietto, R., Bressanini, L. y Ovando, G. 2000. Determinación del área foliar en papa (*Solanum tuberosum* L. Var. Spunta) por medio de fotografías digitales conociendo la relación en el número de píxeles y la altura de adquisición. Revista Brasileira de Agrometeorología, 8: 215-221.
- Roussele, P. y Robert, J. C. 1996. La Pomme de Terre. Instituto Nacional de la Recherche Agronomique. París. France. p. 25 – 154.
- Rowe, C. R. 1993. What is a healthy potato plant? In: Potato Health Management Department of Plant Pathology. Ohio State University Wooster. Edited by Randall. p. 4 – 7.
- Ruíz, Josefa Ines. 2001. Nutrición y fertilización de la papa (*Solanum tuberosum* L.) en suelo Ferralítico Rojo de la provincia La Habana. La Habana. 81 h. Tesis (en opción al título de Máster en Ciencias en Nutrición de las Plantas y Biofertilizantes). Instituto Nacional de Ciencias Agrícolas.
- Salas, A.; Simon, R.; Rojas, E.; Blancas, M.; Juárez, H. y Roca, W. CIP database of FAO in – trust wild potato accessions Genetics Resources Characterization

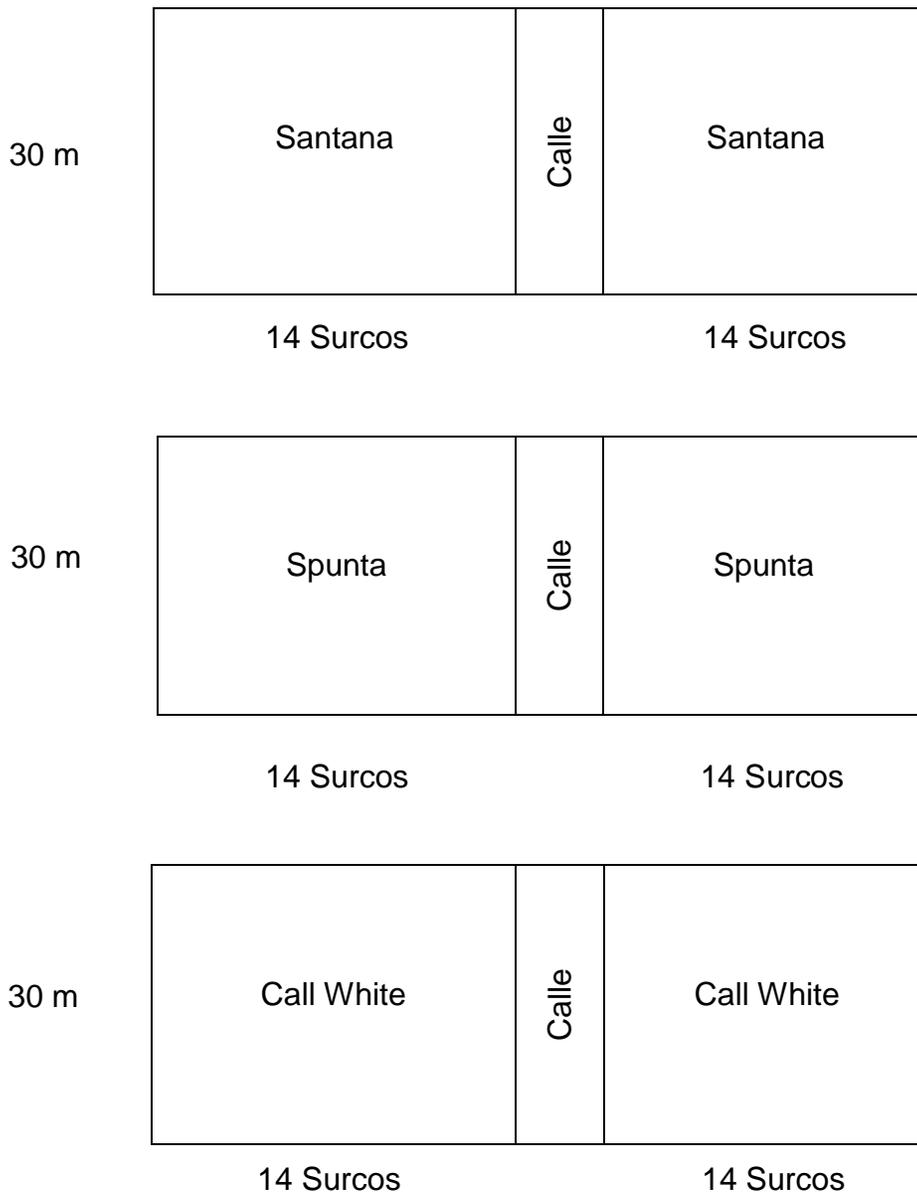
- and Conservation Division: Genebank. [en línea] 2009. Disponible en: www.research.cgiar.org/genebankdb. [consulta: septiembre, 2011].
- Salazar, L. F. 1997. Identificación de enfermedades virales y fitoplasmas de la papa. Simposium Internacional de la Papa. Metepec, 25 y 26 de agosto. Estado de México.
- Salisbury, F. B. y Ross, C. W. 1992. Crecimiento. En Grupo Editorial Iberoamericano S.A. Fisiología Vegetal. México D. F. 43 p.
- Salomón, J. L. 2001. Estudio y selección de progenies híbridas de semilla sexual de papa (*Solanum tuberosum* L.) en Cuba. La Habana. 65 h. Tesis (en opción al título de Máster en Ciencias) Instituto Nacional de Ciencias Agrícolas.
- Sánchez-Bernal, E., Ortega, M., González-Hernández, V., Camacho-Escobar, M y Kohashi-Shibata, J. 2008. Crecimiento de plantas de papa (*Solanum Tuberosum* L.) Cv. Alpha, inducido por diversas soluciones salinas. *Interciencia*, 33(9):643-650.
- Santos, Marcela; Segura, Mariela y Núñez, C. E. 2010. Análisis del crecimiento y relación fuente-demanda de cuatro variedades de papa (*Solanum tuberosum* L.) en el municipio Zipaquirá (Cundinamarca, Colombia). *Rev. Fac. Nal. Agr. Medellín* 63 (1): 5253 – 5266.
- Segura, Mariela; Santos, Marcela y Núñez, C. E. 2006. Desarrollo fenológico de cuatro variedades de papa (*Solanum tuberosum* L.) en el municipio de Zipaquirá (Cundinamarca). *Fitotecnia Colombiana* 6 (2): 33 – 43.
- Shillito, R. *et al.*, 2005. Economic implications of spatial variability in crop yield predictions [Abstract]. BARC Poster Day. p. 20.
- Štastná, M., Toman, F. y Dufková, J. 2010. Usage of SUBSTOR model in potato yield prediction. *Agricultural Water Management* 97: 286–290.
- Struik, P. C., Vreugdenhil, D., Van Eck, H. D., Bachen, C. W. y Visser, R. G. F. 1999. Physiological and genetic control of tuber formation. *Potato Research*. 42: 313 – 331.

- Subedi, P.P. y Walsh, K.B. 2009. Assessment of Potato Dry Matter Concentration Using Short-Wave Near-Infrared Spectroscopy. *Potato Research*, 52:67-77.
- Tedone, L., Marzi, V. y Travesa, D. 2005. Physiological, productive and qualitative aspects of potato in early and late cycle. *Acta Horticulturae*. 684: 187 – 194.
- Tekalign, T. y Hammes, P.S. 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. y Hammes, P.S. 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.
- Torres, W. y Reynaldo, Ines. 1993. Efectos de períodos cortos de estrés por altas temperaturas en plantas de papa (*Solanum tuberosum* L.). *Cultivos Tropicales*. 14: 2 – 3.
- Tsegaw, T. y Zelleke, A. 2002. Removal of reproductive growth increases yield and quality of potato (*Solanum tuberosum* L.). *Trop. Agric.* 79(2): 125–128.
- Valbuena, I. 2001. Aspectos ecofisiológicos básicos sobre el crecimiento y desarrollo del cultivo de la papa. En: Herrera, C. A., *et al.* Manejo Integrado del cultivo de la papa. Manual técnico. Ediciones CORPOICA. Bogotá D. C. p. 43 – 50.
- Valdivia, R., Quiroz, R., Valdivia-Fernández, R y Choquehuanca, V. Análisis de riesgo en la producción de papa en el altiplano cuantificando la percepción de los de los agricultores. En: INFO Papa: Foro de discusión sobre investigaciones de papa en América Latina. [en línea] 1997. Disponible en: www.condesar.org/foro/infopapa. [consulta: septiembre, 2011].
- Van Dam, J. Kooman, P. L. y Struik, P. C. 1996. Effects of temperature and photoperiods on earl growth and final number of tubers in potato (*Solanum Tuberosum* L.). *Potato Research*. 39: 51 – 62.

- Van deer Zaag, D. E. 1993. La patata y su cultivo en los países bajos: Instituto Consultativo Holandés sobre la patata. La Haya. Holanda. Abril.
- Van Heemst, H.D.J. 1986. The distribution of dry matter during growth of a potato crop. *Potato Research* 29(1): 55–66.
- Villa Nova, N.A., Pilau, F.G., Dourado Neto, D., Manfron, P.A. 2005. Estimativa da produtividade de cana de açúcar irrigada com base na fixação de CO₂, radiação solar e temperatura do ar. *Revista Brasileira de Agrometeorologia*, Piracicaba, 13 (3): 405-411.
- Vos, J. 1995. The effects of nitrogen supply and stem density on leaf attributes and stem branching in potato (*Solanum Tuberosum* L.) *Potato Research*. 38: 27-79.
- Wikipedia. *Solanum Tuberosum*. [en línea] 2011. Disponible en: http://es.wikipedia.org/wiki/Solanum_tuberosum. [consulta: abril, 2011]
- Wolf, S. 1993. Effect of leaf age on photosynthesis, carbon transport and carbon allocation in potato plants. *Potato Research*. 36: 253 – 262.
- Zamora, F.R., Sánchez, A. y Tua, D. 2008. Evaluación biométrica de dos variedades de papa, en la zona alta del estado falcón, Venezuela. *Agronomía Tropical*, 58(1):41-43.
- Zulzer, S. 2008. La papa versátil y nutritiva. En: La papa cultivo de futuro. *Revista Correo de Bayer CropScience*: 8 – 11.

Anexos

Anexo 1. Croquis del área experimental.



Anexo 2. Vista del área experimental y máquina de riego empleada.



Anexo 3. Variedades utilizadas en la investigación a los 28 ddp. A: Call White, B: Spunta, C: Santana.

A



B



C



Anexo 4. Afectaciones por *Erwinia carotovora* a los 28 ddp en la plantación del 2011.



Anexo 4. Tubérculos cosechados en los muestreos que se realizaron a los 70 ddp por variedades para el año 2011.

