

Formación de minitubérculos de cuatro variedades cubanas de *Solanum tuberosum* L. en casa de cultivo

Leyanis García-Águila¹, Mayelín Rodríguez¹, Kasuni Dilhara Edirisinghage², Ivis Laura Méndez Bernal², Mariana La O¹, Marta Pérez¹, Yelenys Alvarado-Capó¹, Manuel De Feria¹, Novisel Veitía¹, Ortelio Hurtado¹, Juan Castillo³

¹Instituto de Biotecnología de las Plantas. Universidad Central Marta Abreu de Las Villas. Carretera a Camajuaní km 5,5. Santa Clara. Villa Clara. Cuba. CP 54830. e-mail: leyanis@ibp.co.cu

²Facultad de Ciencias Agrícolas, Universidad Central Marta Abreu de Las Villas. Carretera a Camajuaní km 5,5. Santa Clara. Villa Clara. Cuba. CP 54830.

³Instituto Nacional Ciencias Agropecuaria (INCA). Carretera a Tapaste km 3,5 Gaveta Postal 1. San José de las Lajas. Mayabeque. Cuba. CP 32700.

RESUMEN

La producción de semilla de papa (*Solanum tuberosum* L.) a partir de plantas procedentes del cultivo *in vitro* garantizará la rápida propagación de variedades promisorias. El objetivo de este trabajo fue determinar la respuesta de cuatro variedades cubanas durante la formación de minitubérculos en casa de cultivo a partir de plantas obtenidas *in vitro*. Se utilizaron plantas de las variedades 'Yuya', 'Marinca', 'Grettel' e 'Ibis' con altura entre 6.5 a 7.0cm. Estas fueron plantadas a una distancia de 10x10cm sobre un sustrato compuesto por materia orgánica (100%). A los 15 días de cultivo se cuantificó el número de plantas vivas y se calculó el porcentaje de supervivencia. Posteriormente, cada 15 días y hasta los 90 días de cultivo se determinó la masa fresca y seca del follaje y sistema radical y se calculó la tasa absoluta y relativa de crecimiento. A los 75 días de cultivo se cuantificó el número, diámetro, masa fresca y seca de los minitubérculos. Los resultados mostraron alta supervivencia de las plantas (>96.5%). La tasa de crecimiento absoluta y relativa en el tiempo y la formación de minitubérculos fueron dependientes de la variedad. El mayor número de minitubérculos por planta se obtuvo en la variedad 'Ibis' mientras que el mayor número con calibre de semilla (2.9-4.5 cm de diámetro) se obtuvo en las variedades 'Yuya' y Grettel. Los resultados del trabajo proporcionaron información importante para establecer manejos agronómicos diferenciales a cada variedad para incrementar el número de minitubérculos con calibre de semilla.

Palabras clave: masa fresca, minitubérculos, papa, tasa de crecimiento

Minitubers formation of four Cuban varieties of *Solanum tuberosum* L. in greenhouse

ABSTRACT

The production of seed potato (*Solanum tuberosum* L.) plants coming from *in vitro* culture will ensure the rapid spread of promising varieties. The aim of this work was to determine the response of four Cuban varieties during minitubers formation in greenhouse from plants *in vitro* obtained. Plants of the varieties 'Yuya', 'Marinca', 'Grettel' and 'Ibis' with height between 6.5 and 7.0cm were used. These were planted at a distance of 10x10cm on a substrate composed of organic matter (100%). At 15 days of culture the number of live plants was quantified and the percentage of survival was calculated. Subsequently, the fresh and dry mass of the foliage and root system were determined every 15 days and up to 90 days of culture and the absolute and relative growth rate were calculated. At 75 days of culture the number, diameter, fresh and dry mass of the minitubers were quantified. The results showed high plant survival (> 96.5%). The absolute and relative growth rate in the time and the formation of minitubers were dependent on the variety. The highest number of minitubers per plant was obtained in the variety 'Ibis' while the largest number with seed size (2.9-4.5 cm in diameter) was obtained in the varieties 'Yuya' and Grettel. The results of the work provided important information to establish differential agronomic management for each variety to increase the number of seed size minitubers.

Keywords: fresh mass, minitubers, potato, growth rate

INTRODUCCIÓN

Con el objetivo de incrementar la estrategia varietal en Cuba, desde 1985 el Instituto Nacional de Ciencias Agrícolas (INCA) trabaja en un Programa de mejora genética de papa (*Solanum tuberosum* L.) mediante cruzamiento de progenitores seleccionados (Estévez *et al.*, 2007).

Las variedades 'Yuya', 'Marinca', 'Grethel' e 'Ibis' se obtuvieron en las condiciones específicas de Cuba, a través del programa desarrollado por científicos cubanos. Estas se caracterizan por presentar rendimientos superiores a 35 t ha⁻¹, resistencia a *Alternaria solani* sorauer y tolerancia a los principales virus que afectan el cultivo. Además, por sus características organolépticas y contenido de materia seca se recomiendan como multipropósito, tanto para el consumo fresco como para la industria (Estévez *et al.*, 1998; Castillo *et al.*, 2006; Castillo *et al.*, 2008; Castillo *et al.*, 2011).

La disponibilidad de variedades adaptadas a las condiciones climáticas del trópico aumentará los rendimientos por la reducción en el uso de plaguicidas para el control de enfermedades. Además, la producción nacional de semillas original con el empleo de técnicas biotecnológicas puede disminuir la adquisición de semillas foráneas con gastos de 10-15 millones de pesos en moneda libremente convertible. Al mismo tiempo, brinda la posibilidad de exportar tubérculos-semillas a países que requieran variedades adaptadas al trópico (Estévez *et al.*, 2007).

Las plantas de papa que se obtienen a partir del cultivo *in vitro* son utilizadas para la producción de los minitubérculos en casas de cultivo. Estos constituyen la categoría de semilla original, las cuales transitan por básica, registrada y certificada a partir de frecuentes multiplicaciones en campo (Jiménez-Terry *et al.*, 2010).

La respuesta a la propagación *in vitro* de las variedades 'Yuya', 'Marinca', 'Grethel' e 'Ibis' se conoce que es genotipo dependiente. Todas las variedades se desarrollan *in vitro* con diferencias en la supervivencia de los meristemas, coeficientes de multiplicación y capacidad de formación de microtubérculos (García-Águila *et al.*, 2015). Sin embargo, su respuesta en casa de cultivo no se ha descrito. Teniendo en cuenta estos antecedentes, este

trabajo tuvo como objetivo determinar la respuesta de cuatro variedades cubanas de papa (*Solanum tuberosum* L.) durante la formación de minitubérculos en casa de cultivo a partir de plantas obtenidas *in vitro*.

MATERIALES Y MÉTODOS

Material vegetal

Se utilizaron plantas procedentes del cultivo *in vitro* de las variedades 'Yuya', 'Marinca', 'Grettel' e 'Ibis' con una altura entre 6.5 a 7.0 cm, hojas de color verde oscuro y un sistema radical desarrollado.

Formación de minitubérculos

El experimento se desarrolló en casa de cultivo cubierta de tela antiáfidos con sustrato compuesto por materia orgánica a partir de cachaza descompuesta. Un total de 200 plantas de cada cultivar fueron plantadas en parcelas de 3.0 m de longitud con un diseño completamente aleatorizado. La distancia de plantación fue de 10x10cm entre planta e hileras; respectivamente. La plantación se realizó de forma manual a una profundidad de 2.0 cm.

Cada 15 días durante todo el ciclo del cultivo se evaluaron 10 plantas al azar del área experimental. Las evaluaciones se iniciaron a los 15 días de cultivo con la cuantificación del número de plantas vivas del total de plantas iniciales y se determinó el porcentaje de supervivencia. En cada evaluación se midió la longitud del tallo (cm) desde su base hasta la yema apical con la utilización de una regla milimetrada y se determinó la masa fresca (g) del follaje y del sistema radicular incluido los minitubérculos en caso de estar presentes.

A los 75 días de cultivo, se cuantificó el número de tallos y el número de minitubérculos por planta. Además, del diámetro (cm), masa fresca (g) y contenido de masa seca (%) de los minitubérculos. El porcentaje de masa seca se determinó mediante la siguiente expresión: $\text{Contenido de masa seca} = \frac{\text{masa seca (g)}}{\text{masa fresca (g)}} \times 100$. Seguidamente, los minitubérculos fueron agrupados por calibres según su diámetro y se establecieron para este estudio los siguientes rangos de calibres ≤ 1.5 , 1.6 - 2.8, 2.9 - 3.5, 3.6 - 4.5, 4.6 - 5.5, ≥ 5.5 .

Durante el ciclo del cultivo se evaluaron diferentes índices fisiológicos de crecimiento como la tasa absoluta de crecimiento (TAC) y tasa relativa de crecimiento (TRC), siguiendo la formulación propuesta por Hunt *et al.* (2002). El análisis de crecimiento involucró el muestreo destructivo de las plantas a intervalos de tiempo durante la fase de crecimiento vegetativo. Para ello, se determinó cada 15 días la masa seca (g) del follaje y del sistema radicular, incluidos los minitubérculos de las plantas. Para la obtención de la masa seca de las plantas se utilizó una estufa marca SAKURA a 70 °C hasta que la masa de las muestras se mantuvo constante.

La TAC (g días^{-1}) se calculó por la siguiente fórmula: $\text{TAC} = \text{MSf} - \text{MSi} / \text{Tf} - \text{Ti}$ y la TRC ($\text{g g}^{-1} \text{días}^{-1}$) mediante $\text{TRC} = \text{MSf} - \text{MSi} / (\text{MSf} + \text{MSi}) (\text{Tf} - \text{Ti})$; donde MSf y MSi es la masa seca final e inicial de la planta completa en intervalos de tiempo, Tf tiempo final y Ti tiempo inicial. Además, se calculó el porcentaje de masa seca de los tubérculos a los 75 días mediante la fórmula $\% \text{ masa seca} = [\text{masa seca (g)} / \text{masa fresca (g)}] \times 100$.

Condiciones de cultivo

Las labores agrotécnicas y fitosanitarias se realizaron siguiendo el procedimiento descrito en el Instructivo técnico de producción de papa en Cuba (MINAGRI, 2012). Se utilizó riego por microaspersión con caudal de 35 l h^{-1} , dos bares de presión y una norma de 20.46 m^3 por hora. La frecuencia de aplicación fue de tres veces al día durante tres minutos durante los primeros 15 días, después se redujo a dos veces al día hasta los 30 días de cultivo y se

continuó con un riego diario hasta los cinco días antes de la cosecha.

La humedad relativa fue del 62.0% durante el ciclo del cultivo, mientras que la temperatura promedio durante el día fue de $25 \pm 2 \text{ °C}$ y la mínima nocturna fue de $12 \pm 2 \text{ °C}$. La intensidad y duración de la iluminación varió de acuerdo con las condiciones ambientales de la época del año, comprendida entre los meses de diciembre a marzo.

Análisis estadístico

El procesamiento estadístico se realizó con el paquete estadístico SPSS versión 21. Como procedimiento común para todas las variables, se efectuó la comprobación de los supuestos de distribución normal y homogeneidad de varianzas. Para la comparación de las medias entre tratamientos se usó la prueba de proporciones para el porcentaje de supervivencia. Los valores de TCA y TCR se procesaron mediante la prueba de Kruskal Wallis/Mann Whitney; mientras que los datos correspondientes al número de minitubérculos y tallos, masa fresca y seca de minitubérculos se analizaron con la prueba de Dunnett C.

RESULTADOS

A los 15 días, la supervivencia de las plantas en casa de cultivo estuvo entre 96.5 y 100%, sin diferencias significativas entre variedades. En los primeros 45 días de cultivo, las plantas alcanzaron más del 70% del valor de la altura, con respecto al mostrado al finalizar el periodo de cultivo (Figura 1).

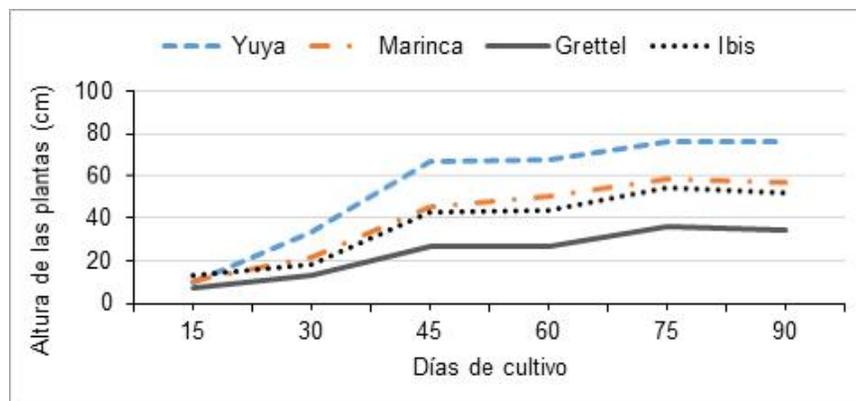


Figura 1. Altura de las plantas de cuatro variedades cubanas de papa durante su desarrollo en casa de cultivo.

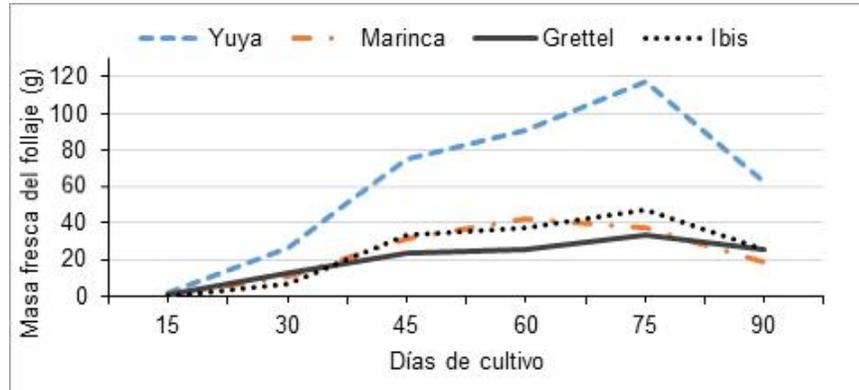


Figura 2. Masa fresca del follaje de plantas de cuatro variedades cubanas de papa durante su desarrollo en casa de cultivo.

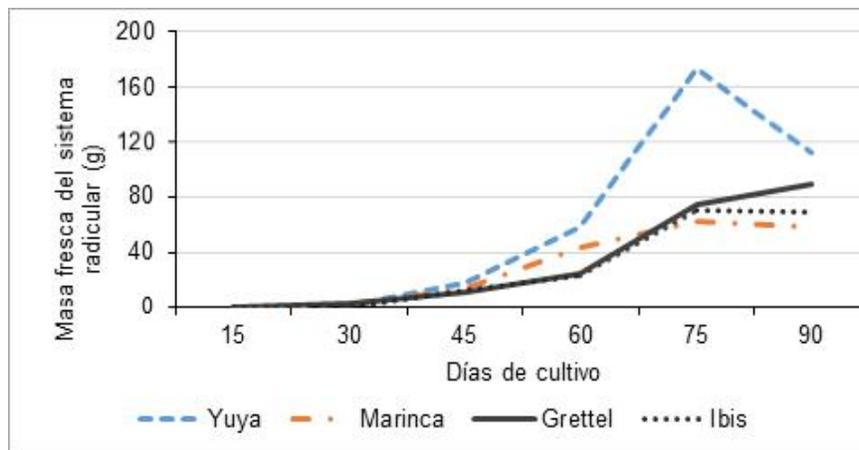


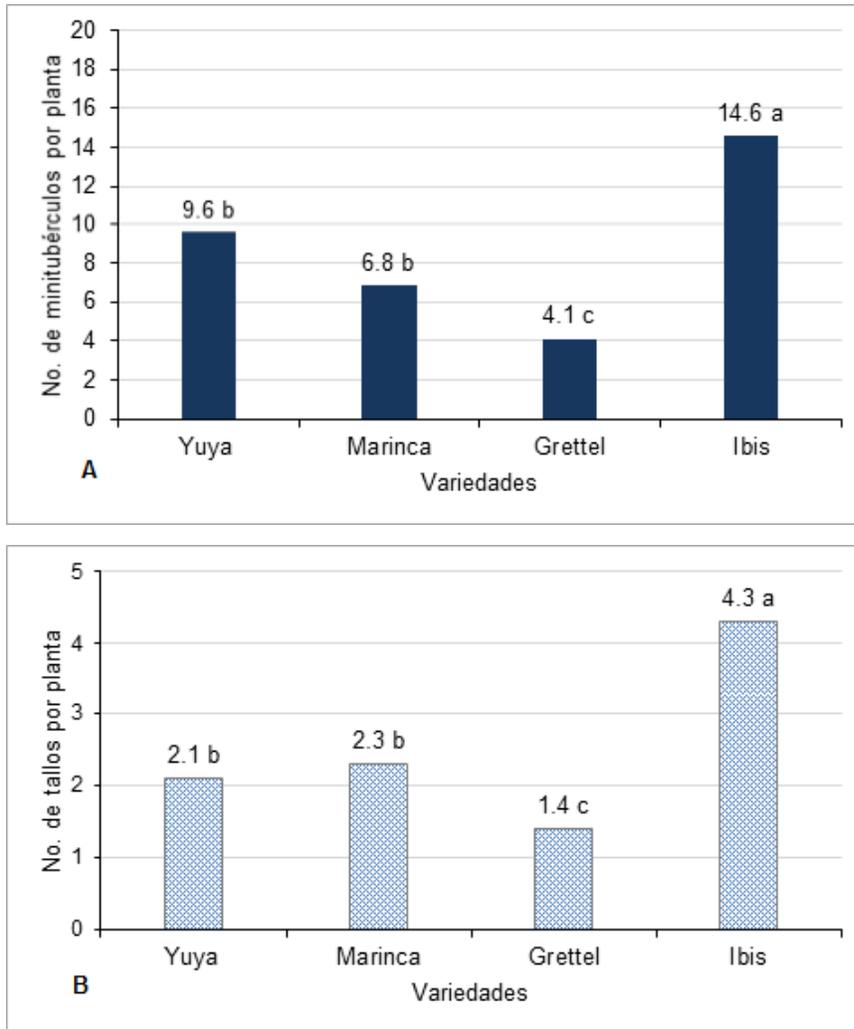
Figura 3. Masa fresca del sistema radicular de cuatro variedades cubanas de papa, durante su desarrollo en casa de cultivo.

La masa fresca del follaje inició su incremento después de los 15 días y aumentó con los días de cultivo, en todas las variedades. Su máximo valor se produjo a los 75 días de cultivo en las variedades 'Yuya', 'Ibis' y 'Grettel' y a los 60 días en la variedad 'Marinca'. A partir de este momento la masa fresca del follaje comenzó a disminuir hasta los 90 días de cultivo (Figura 2), donde se observó la senescencia o muerte de aproximadamente del 80.0% de las plantas (datos no mostrados).

Al analizar la masa fresca del sistema radicular, se observó que se inició su incremento a partir de los 30 días de cultivo en las cuatro variedades. Este aspecto pudo estar relacionado con el inicio del proceso de tuberización. A los 75 días, se produjo un notable incremento en las cuatro variedades (Figura 3).

A los 75 días de cultivo, el número de minitubérculos por planta mostró diferencias entre las variedades de papa. 'Ibis' presentó el mayor número de minitubérculos con diferencias significativas respecto al resto de las variedades y 'Grettel' fue la de menor valor de minitubérculos por planta (Figura 4A).

La respuesta de las variedades de papa a la presencia de nuevos tallos se correspondió con la variedad (Figura 4B). A los 75 días, esta variable mostró el mayor valor en la variedad 'Ibis' con un promedio de 4.3 tallos por planta y diferencias significativas con el resto. En esta variable, de forma similar, la variedad 'Grettel' fue la de menor valor de número de tallos por planta con diferencias significativas con las demás variedades (Figura 4B).



Valores con letras diferentes sobre barras indican diferencias según la prueba de Dunett C para $p < 0.05$

Figura 4. Respuesta de cuatro variedades cubanas de papa con respecto al número de minitubérculos (A) y tallos (B) por planta a los 75 días de cultivo.

Tabla 1. Masa de minitubérculos de cuatro variedades cubanas de papa a los 75 días de cultivo.

Varietades	Masa fresca (g)	Masa seca (%)
Yuya	18.67 a	17.6 b
Marinca	8.57 b	17.5 b
Grettel	23.20 a	19.3 a
Ibis	5.92 b	19.4 a

Valores con letras diferentes en cada columna indican diferencias significativas según la prueba de Dunett C para $p < 0.05$

La masa fresca de los minitubérculos fue mayor en las variedades 'Yuya' y 'Grettel' sin diferencias significativas entre ellas y sí con el resto de las variedades. De igual

manera, 'Grettel' mostró los mayores valores en la masa seca de los minitubérculos sin diferencias significativas con 'Ibis' (Tabla 1).

El diámetro de los minitubérculos a los 75 días de cultivo proporcionó una respuesta diferencial entre las variedades. Sin embargo, todas coincidieron en que la mayor frecuencia de minitubérculos estuvo el rango de calibre comprendido de 1.6 a 2.8 cm de diámetro. Los minitubérculos de las variedades 'Ibis' y 'Marinca' presentaron una mayor homogeneidad de su diámetro y se ubicaron en los tres menores rangos de calibres (Figura 5).

Durante el ciclo del cultivo la tasa absoluta de crecimiento mostró diferencias significativas entre las variedades a partir de los 45 días de cultivo. En el periodo de 61 a 75 días el mayor valor de esta tasa se obtuvo en la variedad 'Yuya' con 1.53 g días⁻¹ (Figura 6).

A los 31-45 días la mayor tasa relativa de crecimiento se observó en las variedades 'Yuya', 'Marinca' e 'Ibis' (Figura 6). Los valores de la tasa de relativa crecimiento disminuyeron de manera progresiva con la edad del cultivo en todas las variedades y llegó a valores negativos a partir de los 75 días de plantación. Las cuatro variedades se clasifican según el Descriptor morfológico (Huamán, 2007) como muy precoces porque la madurez del follaje se presentó antes de los 90 días después de la plantación. A los 90 días se observó la senescencia del 80% de las plantas.

Las características predominantes de estas variedades durante la formación de minitubérculos en casa de cultivo se resumen en la tabla 2.

A partir de los resultados de la investigación se pudo determinar que en condiciones *ex vitro* la variedad 'Yuya' mostró mayor crecimiento con respecto a las demás, lo cual se constató a través de los valores de masa fresca del follaje y raíces, así como por su tasa absoluta de crecimiento. La variedad 'Yuya', 'Marinca' e 'Ibis' presentaron los mayores valores de tasa relativa de crecimiento durante el desarrollo vegetativo de las plantas con una mayor acumulación de biomasa.

DISCUSIÓN

En este estudio la supervivencia en casa de cultivo de las plantas obtenidas *in vitro* de las variedades cubanas de papa fue alta por el empleo de plantas morfológicamente adecuadas. Resultados similares obtuvieron Jiménez-Terry *et al.* (2010), durante la obtención de minitubérculos de papa de la variedad 'Desirée' con el 97.8% de supervivencia de plantas en casa de cultivo con sustrato zeolita con respecto a la siembra directa de las plantas en campo. La supervivencia de las plantas en condiciones *ex vitro* está determinada por varios factores, entre

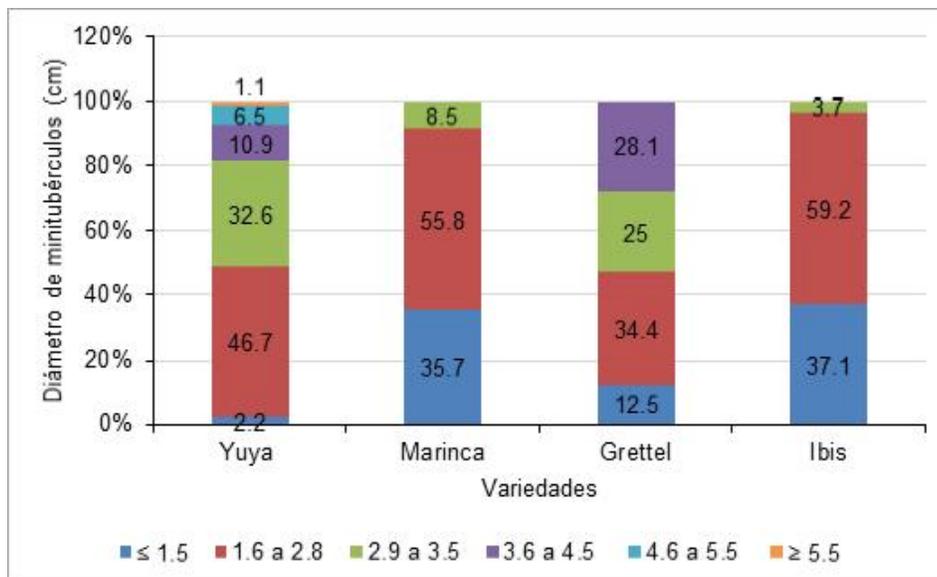
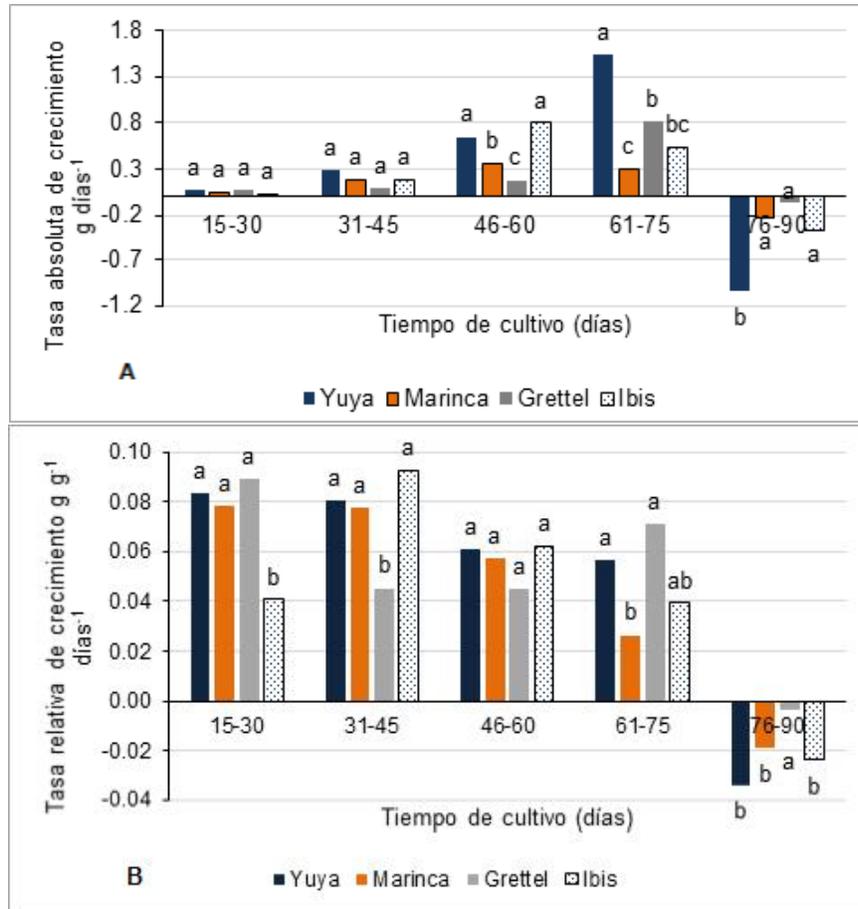


Figura 5. Frecuencia de calibres según el diámetro de los minitubérculos de cuatro variedades cubanas de papa, a los 75 días de cultivo.



Letras sobre barras en un mismo periodo de tiempo indican diferencias significativas según la prueba Kruskal Wallis/Mann Whitney para $p < 0.05$

Figura 6. Tasa absoluta (A) y relativa (B) de crecimiento de cuatro variedades cubanas de papa en casa de cultivo.

ellos se encuentran la manipulación *in vitro*, las atenciones culturales y las condiciones climáticas (Park *et al.*, 2009). En este sentido, Kowalski *et al.* (2006) señalaron que condiciones fisiológicas favorables de las plantas durante las fases de cultivo *in vitro* repercutieron en las fases posteriores del proceso de producción de semilla de papa en casa de cultivo.

También al respecto, Hazarika (2006) señalaron la influencia del estado de desarrollo de las plantas *in vitro* en su posterior aclimatización en casa de cultivo. Estos autores demostraron que plantas de mayor altura presentaron mayor supervivencia y crecimiento en la casa de cultivo con respecto a las plantas de menor altura. De forma similar, los estudios de Igarza *et al.* (2013) demostraron que la calidad de las plantas *in vitro* tiene influencia sobre el desarrollo de las plantas *ex vitro* al utilizar plantas de papa de la variedad

'Andinita' propagadas en sistemas de inmersión temporal.

En este estudio las características de las plantas obtenidas *in vitro* conjuntamente con el empleo de materia orgánica como sustrato contribuyeron a la supervivencia de las plantas en casa de cultivo. En otros estudios Jiménez-Terry *et al.* (2013) obtuvieron altos porcentajes de supervivencia cuando utilizaron materia orgánica como sustrato (100 y 85.0%) para la formación de minitubérculos de papa en la casa de cultivo a partir de plantas obtenidas *in vitro*. En estas plantas se observaron los mayores valores de la tasa de crecimiento absoluta y las mayores tasas de crecimiento relativas. Las mayores tasas de crecimiento relativas significaron que para estos sustratos existió una producción similar de materia seca por masa total de la planta en la etapa de crecimiento hasta los 45 días de cultivo.

Tabla 2. Principales características de cuatro variedades cubanas de papa durante la formación de minitubérculos en casa de cultivo.

Característica	Variedad			
	'Yuya'	'Marinca'	'Grettel'	'Ibis'
Supervivencia de plantas* (%)	96.5	99.0	97.0	100.0
Masa fresca del follaje (g)**	117.2	37.8	33.7	47.5
Masa fresca de raíces y minitub. (g)**	170.8	62.17	74.3	69.7
Altura de plantas (cm)**	76.8	58.4	35.8	54.2
Número de tallos/planta**	2.1	2.3	1.4	4.3
Número de minitubérculos/planta**	9.6	6.8	4.1	14.6
Número de minitubérculos/tallo**	4.5	2.9	2.9	3.4
Masa fresca (g) de minitubérculos **	18.7	8.57	23.2	5.9
Masa seca de minitubérculos (%) **	17.6	17.5	19.3	19.4
Diámetro de minitubérculos (cm) **	2.8	1.9	2.8	1.8
TAC (46-60 días) (g días ⁻¹)	0.6	0.4	0.2	0.8
TAC (61-75 días) (g días ⁻¹)	1.5	0.3	0.8	0.5
TRC (46-60 días) (g g ⁻¹ días ⁻¹)	0.06	0.06	0.04	0.06
TRC (61-75 días) (g g ⁻¹ días ⁻¹)	0.06	0.03	0.07	0.04

*Plantas en casa de cultivo con sustrato de materia orgánica (cachaza). ** Características de las plantas a los 75 días de cultivo

En la literatura científica varios autores han descrito la influencia del número de tallos por planta en la formación de estolones y por consiguiente en el mayor número de tubérculos por planta (Estévez *et al.*, 2007; Torres *et al.*, 2012). Este aspecto se puso de manifiesto en este estudio donde las variedades con mayor número de tallos se correspondieron con la mayor formación de minitubérculos, a los 75 días de cultivo. En este sentido, los resultados de Estévez *et al.* (2007) en cultivos diploides de papa mostraron correlaciones entre el rendimiento y el número de tallos. Al igual que Torres *et al.* (2012), los cuales encontraron que el número de tallos influyó positivamente en el rendimiento agrícola de la variedad de papa 'Cal White'.

La masa fresca del follaje de las variedades cubanas se incrementó con los días de cultivo (Figura 2), lo que sugiere que los tallos presentan un mayor crecimiento vegetativo en este momento. En primeras etapas del cultivo la mayor proporción de asimilados se utiliza en la generación de hojas y crecimiento del tallo y no en el llenado de los tubérculos (Gawronska *et al.*, 1990). Al respecto, Moreno *et al.* (2013) plantearon que durante la fase de

crecimiento vegetativo los fotoasimilados no son distribuidos hacia los tubérculos, lo cual incrementa la masa fresca aérea. Similares resultados obtuvieron Mora-Aguilar *et al.* (2006) en las variedades de papa 'Alpha' y 'Milagros'.

Entre las cuatro variedades de estudio, 'Yuya' alcanzó los mayores valores de masa fresca en todos los tiempos de evaluación. Mostró mayor desarrollo del follaje y los tallos alcanzaron mayor altura en la etapa de crecimiento vegetativo. Por ello, es recomendable distancias de plantación mayores para esta variedad para evitar el autosombreo y la competencia de las plantas durante la obtención de los minitubérculos.

Después de los 75 días de cultivo todas las variedades presentaron un declive del contenido de masa fresca del follaje causado por la senescencia de las hojas y tallos, lo cual puede estar relacionado con el movimiento y distribución de asimilados en la planta y la demanda de los sitios de consumo. La mayor demanda de asimilados se presenta en estadios iniciales en las hojas y en los tallos; pero esto cambia con el crecimiento de los

tubérculos, los que constituyen el principal sitio de almacenamiento (Jerez y Martín, 2012).

La masa fresca de raíces y minitubérculos inició su incremento a partir de los 30 días y continuó elevándose con los días de cultivo hasta llegar al máximo valor a los 75 días en todas las variedades (Figura 3). Esta variable presentó una tendencia similar a la masa fresca del follaje de la planta que alcanzó el máximo valor en el mismo periodo de tiempo del cultivo (Figura 3).

Aunque el incremento de la masa fresca de los tubérculos empieza a partir de los 30 días, transcurre lentamente hasta los 75 días que alcanza su máximo valor. Esto se puede explicar por la mayor duración en el llenado del tubérculo (Moreno *et al.*, 2013).

La variedad 'Ibis' presentó el mayor número de minitubérculos por planta con un promedio de 14.6 y diferencias significativas con respecto a las demás variedades de estudio (Figura 5). Igualmente, la variedad 'Ibis' presentó tallos ramificados más abiertos lo que le permite a la planta mayor actividad fotosintética porque tiene mayor follaje expuesto a la luz y hay una mayor eficiencia productiva y con ello una mayor cantidad de tubérculos producidos. Sobre lo anterior, Van der Veecken *et al.* (2009) plantearon que en los sistemas de producción de semilla de papa el objetivo principal era obtener un elevado número de tubérculos.

La variedad 'Grettel' no tuvo una buena producción de minitubérculos (4.1 tubérculos por planta), debido a que su desarrollo vegetativo fue muy pobre, tal vez porque esta variedad es más exigente las condiciones climáticas o diferentes condiciones de plantación (Moreno *et al.*, 2013).

La mayor parte de los minitubérculos en cada variedad de estudio correspondió a un calibre entre 1.6 – 2.8 cm. La producción de tubérculos mayores es favorable para plantaciones de papa para consumo, pero a su vez es desfavorable para la producción de tubérculos semilla, donde se requiere un mayor número de tubérculos de menor tamaño (Pozo, 2001).

Se conoce que el diámetro de los tubérculos está determinado entre otros factores por la duración del ciclo de cultivo de la variedad o

cultivar. A medida que avanza el ciclo vegetativo del cultivo, el rendimiento y el porcentaje de tubérculos grandes se incrementa (Igarza *et al.*, 2013). Algunos productores de semilla para evitar la formación de tubérculos muy grandes emplean prácticas agronómicas como el corte del follaje. Según Pozo (2001), se puede obtener hasta el 100% de tubérculos para semilla en períodos menores a 90 días, independientemente del diámetro de semilla usado para la plantación. Estos resultados indican que la variedad 'Ibis' presentó la mejor respuesta desde el punto de vista de producción de semilla pues logra tubérculos de pequeño tamaño pero en mayor número.

El contenido de masa seca entre diferentes variedades de papa permitirá establecer un criterio de selección de aquellas que logren tener un mayor contenido de reserva, lo cual se traduciría en un incremento del crecimiento de las plantas y una mayor precocidad del cultivo.

La variedad 'Yuya' presentó los mínimos valores de masa seca durante el ciclo de crecimiento, aunque anteriormente presentó los máximos valores de masa fresca con respecto a las demás variedades. Esto puede ser debido a una mayor acumulación de agua en los tejidos de la planta. El alto contenido de agua que poseen los tubérculos, puede facilitar el ataque de insectos y microorganismos que ocasionan a menudo su destrucción. Es por ello, que se torna difícil conservar tubérculos de papa por largo tiempo sin que se produzcan pérdidas de consideración (Jiménez-Terry *et al.*, 2011). 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. Según Cacace *et al.* (1994) valores de masa seca de los tubérculos superiores al 20.0% constituye una característica de calidad importante para la agroindustria de la papa y está directamente determinada por la condición genética. Sin embargo, esta eficiencia puede estar influenciada por la cantidad de radiación solar, la capacidad de las hojas para fotosintetizar, el índice de área foliar, la arquitectura de la planta, la respiración, entre otros, lo que se resume en factores internos de crecimiento relacionados con el genotipo y factores externos relacionados con el ambiente

y las prácticas de manejo utilizadas durante el ciclo (Jerez y Martín, 2012).

Los resultados de este estudio estuvieron en correspondencia con los informados por Leiva-Mora *et al.* (2011), con respecto a que las plantas de papa obtenidas por cultivo *in vitro* que tenían una mayor producción de masa seca y área foliar alcanzaron mayor rendimiento. Según Santos *et al.* (2010) las plantas de papa que tienen mayor producción de materia seca en las etapas iniciales hasta que comienza la tuberización; potencialmente pueden alcanzar mayor rendimiento si otros factores inductores y condiciones ambientales no afectan el desarrollo normal de este cultivo.

En este estudio se demostró que las variedades 'Grettel' e 'Ibis' tienen un mayor potencial en la producción de masa seca (Tabla 1) y por ende un mayor contenido de almidón en los tubérculos. Esto concuerda con lo informado por Torres (1980), quien logró determinar la correlación lineal entre el contenido de masa seca de los tubérculos y el contenido de almidón.

A los 60-75 días de cultivo en las variedades 'Yuya', 'Grettel' e 'Ibis' mostraron el mayor valor de la Tasa Absoluta de Crecimiento (Figura 6). En este sentido, Jerez y Martín (2012), comprobaron que en las plantaciones, se alcanzan un máximo en la superficie foliar alrededor de los 65 días después de la plantación lo cual aumenta la capacidad de la fotosíntesis, momento a partir del cual comienza a declinar de forma pronunciada. La Tasa de Crecimiento Absoluta (TCA) es un índice fisiológico relacionado con el crecimiento de las plantas que estima el ritmo de producción de materia seca por planta por unidad de tiempo (Borrego *et al.*, 2000). La determinación de la tasa de crecimiento absoluta de acuerdo con la etapa fisiológica del cultivo permitirá valorar la acumulación de materia seca por la planta directamente relacionada con la fotosíntesis. La tasa de crecimiento absoluta debe evaluarse en la etapa de crecimiento del cultivo y por ello la selección de los momentos en lo que se realiza la evaluación, así como las etapas fenológicas que representan; pueden influir en los valores de este índice fisiológico y su interpretación (Santos *et al.* 2010).

A partir de los 75 días, todas las variedades mostraron un pronunciado decremento de la TAC debido al proceso de senescencia de la parte aérea de la planta lo cual redujo la captura de las radiaciones solares y la capacidad fotosintética. La TAC indica que entre los 75 y 90 días de cultivo la ganancia de masa seca por día fue menor, lo que sugiere, que la mayor acumulación de biomasa después de los 75 días se debería a la remobilización de carbohidratos de otras estructuras de la planta (hojas, tallo) hacia los tubérculos, lo que ocasiona la senescencia precoz del follaje (Mora-Aguilar *et al.*, 2006).

La TRC indica la acumulación de biomasa presente, por unidad de biomasa producida, por unidad de tiempo. Esta variable presentó inicialmente valores altos debido a una mayor extensión del follaje en la etapa de crecimiento vegetativo, los cuales fueron disminuyendo con la edad, la cual se debe en parte al aumento gradual de tejidos no asimilatorios. De igual manera Jerez *et al.* (2016) observaron en la variedad de papa 'Santana' un patrón de crecimiento similar para este indicador en los dos años evaluados, con ligeros incrementos al inicio para luego disminuir en el tiempo hasta la evaluación final.

CONCLUSIONES

Las plantas obtenidas *in vitro* de las variedades cubanas 'Yuya', 'Marinca', 'Grettel' e 'Ibis' formaron minitubérculos en casa de cultivo y su respuesta fue genotipo dependiente. La variedad 'Yuya' presentó mayor desarrollo vegetativo con altos valores de masa fresca del follaje, sistema radicular y tasa absoluta de crecimiento. La variedad 'Ibis' presentó el mayor número de tallos y minitubérculos por planta con alto contenido de materia seca. Estos resultados proporcionan el conocimiento necesario para la elección y manejo adecuado de las variedades durante la producción de semilla original de papa en Cuba.

AGRADECIMIENTOS

El presente trabajo se realizó en el marco del proyecto Nacional Fortalecimiento de la semilla de papa que se ejecuta entre varios centros de investigación del país.

REFERENCIAS

- Borrego F, Fernández JM, López A, Víctor M, Murillo M, Carvajal A (2000) Análisis de crecimiento en siete variedades de papa (*Solanum tuberosum* L.). *Agronomía Mesoamericana* 11(1): 145-149; doi: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=4371112>
- Cacace JE, Huarte MA, Monti MC (1994) Evaluation of potato cooking quality in Argentina. *American Journal of Potato Research* 71: 145-153; doi: 10.1007/BF02849049
- Castillo JG, Estévez A, González ME, Salomón JL (2006) Grettel, una nueva variedad cubana de papa para el consumo fresco e industrial. *Cultivos Tropicales* 27 (2): 63
- Castillo JG, Estévez A, Salomón JL, Pérez A, Ortiz U, Fundora Z (2008) Establecimiento y validación de una colección núcleo en el germoplasma cubano de papa. *Cultivos Tropicales* 29 (4): 77-84
- Castillo J G, Jorge L, Díaz S, Estévez A, Espinosa HM, González M, Castiello AP, Monguía OU, Lorenzo R, Tabera N (2011) Yuya, nueva variedad de papa cubana para doble propósito. *Cultivos Tropicales* 32 (2): 45
- Estévez A, González ME, Castillo J, Ortiz U, Cordero M (1998) Informe de nuevas variedades Lizzette e Ibis dos nuevas variedades cubanas de papa. *Cultivos Tropicales* 19 (2): 57
- Estévez A, Guerra JP, Manso F (2007) Introducción, desarrollo y evolución en Cuba. En: Pérez MM (Ed) *El cultivo de la papa en Cuba*, pp. 14-19. INCA, Habana; ISBN: 959-7023-32-6
- García-Águila L, Rodríguez M, La O M, Pérez M, Alvarado-Capó Y, de Fera M, Veitía N, Mirabal D, Castillo J (2015) Propagación *in vitro* de variedades cubanas de *Solanum tuberosum* L. 'Yuya', 'Marinca', 'Grettel' e 'Ibis'. *Biotecnología Vegetal* 15 (2): 75-3
- Gawronska H, Dwelle BR, Pavek JJ (1990) Partitioning of photo assimilates by potato plants (*Solanum tuberosum* L.) as influenced by irradiance: II. Partitioning patterns by four clones grown under high and low irradiation. *American Potato Journal* 67: 163-176; doi: 10.1007/BF02987069
- Hazarika BN (2006) Morpho-physiological disorders *in vitro* culture of plants. *Scientia Horticulturae* 108 (2): 105-120; doi: 10.1016/j.scienta.2006.01.038
- Huamán Z (2007) Descriptores morfológicos de la papa (*Solanum tuberosum* L.). *Cabildo de Tenerife. Centro de conservación de la biodiversidad agrícola de Tenerife*; ISBN: 978-84-87340-95-6
- Hunt R, Causton DR, Shipleyand B, Askew AP (2002) A modern tool for classical plant growth analysis. *Annals of Botany* 90 (4): 485-488; doi: 10.1093/aob/mcf21
- Igarza J, de Fera M, Alvarado-Capó Y, Pug T, Pérez M, Roman MS, Agramonte D (2013) Empleo de microtubérculos de papa cv. 'Andinita' obtenidos en Sistemas de Inmersión temporal para producir minitubérculos en casa de cultivo. *Biotecnología Vegetal* 13 (4): 209-217
- Jiménez-Terry F, Agramonte D, Pérez M, León M, Rodríguez M, de Fera M, Alvarado-Capó Y (2010) Producción de minitubérculos de papa var. 'Desirée' en casa de cultivo con sustrato zeolita a partir de plantas cultivadas *in vitro*. *Biotecnología Vegetal* 10 (4): 219-228
- Jiménez-Terry F, Agramonte D, La O M, Pérez M, Pons M, León-Miranda M, Rodríguez M, González M, León-Quintana M, Acosta-Suárez Y, Alvarado-Capó Y, Leiva-Mora M (2011) Conservación de minitubérculos de papa con el uso de zeolita en polvo. *Biotecnología Vegetal* 11 (2): 89-98
- Jiménez-Terry F, Agramonte D, Pérez M, Pons M, Rodríguez M, La O M, Hurtado O, Pérez A, Leiva-Mora M (2013) Efecto del sustrato sobre la producción de minitubérculos de papa en casa de cultivo a partir de plantas *in vitro*. *Biotecnología Vegetal* 13 (3): 169-180
- Jerez EI, Martín R (2012) Comportamiento del crecimiento y el rendimiento de la variedad de papa (*Solanum tuberosum* L.) Spunta. *Cultivos Tropicales* 33 (4): 53-58
- Jerez EI, Martín R, Morales D, Díaz Y (2016) Análisis clásico del crecimiento en tres variedades de papa (*Solanum tuberosum* L.). *Cultivos Tropicales* 37 (2): 79-87; doi: 10.13140/RG.2.1.4860.056
- Kowalski B, Jiménez-Terry F, Herrera L, Agramonte D (2006) Application of soluble chitosan *in vitro* and in the greenhouse to increase yield and seed stability and seed quality of potato minitubers. *Potato Research* 49 (3): 167-176; doi: 10.1007/s11540-006-9015-0
- Leiva-Mora M, Portela Y, Torres S, Veitía N, Jiménez-Terry F, Agramonte D, León M, Alvarado-Capó Y, Acosta-Suárez M, Cruz-Martín M, Sánchez C, Roque B (2011) Índices fisiológicos asociados al crecimiento de variedades de papa obtenidas por métodos biotecnológicos. *Biotecnología Vegetal* 11(2): 119-120
- Ministerio de la Agricultura (2012) Instructivo Técnico para la producción de la papa en Cuba. Dirección Nacional de cultivos varios-Instituto de Investigaciones de viandas Tropicales, La Habana

- Moreno AP, González MPA, López CEN, Villota TMS, Torres JMC (2013) Análisis funcional de crecimiento y desarrollo de cuatro variedades de papa (*Solanum tuberosum* sub sp. andigena). Revista Facultad de Ciencias Básicas 9 (2): 172-185; doi: 10.18359/rfcb.344
- Mora-Aguilar R, Ortiz CJ, Rivera PA, Mendoza CCA, Colinas LMT, Lozoya SH (2006) Índices de eficiencia de genotipos de papa establecidos en condiciones de secano. Revista Chapingo Serie Horticultura 12(1): 85-94; doi: 987654321/412785
- Park TH, Vleeshouwers VGAA, Jacobsen E, van der Vossen E, Visser RGF (2009) Molecular breeding for resistance to *Phytophthora infestans* (Mont.) de Bary in potato (*Solanum tuberosum* L.): a perspective of cisgenesis. Plant Breeding 128 (2): 109-117; doi: 10.1111/j.1439-0523.2008.01619.x
- Pozo MC (1997) Tuberización, tamaño de la semilla y corte de tubérculos. En: Hidalgo O (ed) Producción de tubérculos-semillas de papa, pp. 1-19. Centro Internacional de la Papa, Lima
- Torres S, Cabrera JL, Hernández M, Portela Y, García E (2012) El número de tallos por plantón afecta el crecimiento y rendimiento de la papa variedad 'Cal White'. Centro Agrícola 39 (1): 11-16
- Torres W (1980) Relación entre el porcentaje de almidón y el porcentaje de materia seca en tubérculos de papa var. Desireé. Cultivos Tropicales 2: 135-145
- Santos M, Segura M, Núñez CE (2010) Análisis de crecimiento y relación fuente-demanda de cuatro variedades de papa (*Solanum tuberosum* L.) en el municipio de Zipaquirá (Cundinamarca, Colombia). Revista Facultad Nacional de Agronomía 63 (1): 5253-5266
- Van der Veecken AJ, Lommen WJ (2009) How planting density affects number and yield of potato minitubers in a commercial glasshouse production system. Potato Research 52 (2): 105-119; doi: 10.1007/s11540-008-9124-z

Recibido: 20-06-2016
Aceptado: 06-09-2016