EFECTOS DE LA CONSANGUINIDAD EN CARACTERES DE BONIATO (*Ipomoea batatas* (L.) Lam.) EN S_1

Alfredo Morales Tejón*, Alfredo Morales Rodríguez y Dania Rodríguez del Sol.
Instituto de Investigaciones de Viandas Tropicales (INIVIT). Apartado 6, Santo Domingo, CP: 53 000, Villa Clara, Cuba.
**Autor para la correspondencia: genetica@inivit.cu*

RESUMEN
Una de las consecuencias más notorias de la consanguinidad en plantas, es el deterioro del vigor de las progenies, este fenómeno es denominado depresión consanguínea. En boniato ha sido poco estudiada, por lo que el objetivo de la presente investigación fue determinar la depresión consanguínea sobre caracteres en S_1 provenientes de tres cultivares precoces y tres tardíos en tres ciclos de cosecha. Los experimentos fueron desarrollados en el Instituto de Investigaciones de Viandas Tropicales (INIVIT), durante los años 2013 y 2015. Para realizar las autofecundaciones se seleccionaron seis cultivares autocompatibles de procedencia genética diferente y grandes contrastes en los caracteres morfológicos. La depresión consanguínea en el rendimiento de raíces tuberosas y peso promedios de raíces tuberosas comerciales es más acentuada en la generación S_1 de los cultivares tardíos en los tres ciclos de cosecha. En todas las progenies la mayor depresión consanguínea en el rendimiento de raíces tuberosas ocurrió a los 120 días, con una media general de 30,55 %, disminuyendo ligeramente hasta alcanzar su valor mínimo promedio de 23,87 % a los 180 días. La consanguinidad no tuvo un efecto marcado en el número de raíces tuberosas comerciales por planta ni en contenido de masa seca en raíces tuberosas independientemente de las progenies.
Palabras clave: depresión consanguínea, *Ipomoea batatas*, progenies.

EFFECTS OF INBREEDING IN CHARACTERS OF SWEET POTATO (*Ipomoea batatas* (L.) Lam.) ON S_1

ABSTRACT
One of the most noticeable consequences of inbreeding in plants, is the deterioration of the vigor of the progeny, this phenomenon is called inbreeding depression. In sweet potato it has been little studied, so that the objective of this research was to determine the inbreeding depression on characters in S_1 from three early cultivars and three late cultivars in three harvest cycles. The experiments were developed at the Research Institute of Tropical Roots and Tuber Crops (INIVIT), for the years 2013 and 2015. To make the selfing six self-compatible cultivars were selected, with different genetic origins and contrasts in morphological characters. Inbreeding depression in performance tuberous roots and average weight of commercial tuberous roots is more pronounced in the S_1 generation of late cultivars in the three harvest cycles. In all progenies most inbreeding depression in performance tuberous roots occurred at 120 days, with an overall average of 30,55 %, decreasing slightly to the average minimum value of 23,87 % at 180 days. Inbreeding had no marked effect on the number of commercial tuberous roots per plant or dry mass content in tuberous roots regardless of the progeny.

Keywords: inbreeding depression, *Ipomoea batatas,* progenies.

INTRODUCCIÓN

El boniato es el sexto cultivo alimenticio más importante del mundo, con una producción mundial de más de 105 millones de toneladas, de ellas el 95 % son producidas en países en vías de desarrollo (CIP, 2013). Este cultivo pertenece a la familia Convolvulaceae, es una especie hexaploide con 90 cromosomas (2n=6x=90) y su número básico es 15 (Bradshaw, 2010).

Desde 1972 en Cuba se desarrolla uno de los pocos programas de mejoramiento genético de boniato que existe en el mundo y esto ha favorecido grandemente a los productores de este cultivo en el país. Los objetivos del Programa Nacional de Mejoramiento Genético de Boniato han estado enfocados en función de incrementar el rendimiento de raíces tuberosas, precocidad, masa seca, β-caroteno, antocianinas, resistencia a *Cylas formicarius* Fab., tolerancia a sequía y otros aspectos (Morales, 2014). Este programa de mejoramiento se lleva a cabo en el Instituto de Investigaciones de Viandas Tropicales (INIVIT), el cual ha intensificado el uso de las combinaciones génicas a través de cruzamientos interclonales e interespecíficos. Este Instituto ha hecho aportes importantes en el mejoramiento genético del boniato, a través de la obtención, evaluación y recomendación de nuevos cultivares que han satisfecho las necesidades de los agricultores y consumidores.

Los caracteres de boniato en su gran mayoría son poligénicos; es una especie predominantemente alógama, por lo que su descendencia es altamente heterocigótica, aunque puede presentar un grado bajo de autogamia. Debido a ello, presenta una gran variabilidad genética en las progenies, de las cuales solo unas pocas presentan una combinación génica favorable. Es por ello, que la selección de progenitores debe ser un primer paso de gran importancia para lograr que los resultados del programa sean eficientes (Morales, 2014).

El caso extremo de la consanguinidad es la autofecundación (Sinnott *et al*., 1968). Una de las consecuencias más notorias de la consanguinidad en plantas, es el deterioro del vigor de las progenies, este fenómeno es denominado *depresión consanguínea* (Ramírez, 2006; Caballero, 2014, Bersabé, 2015). En boniato ha sido poco estudiada, por lo que el objetivo de la presente investigación fue determinar la depresión consanguínea sobre caracteres en S_1 provenientes de tres cultivares precoces y tres tardíos en tres ciclos de cosecha.

MATERIALES Y MÉTODOS

Los experimentos fueron desarrollados en el Instituto de Investigaciones de Viandas Tropicales (INIVIT), durante los años 2013 y 2015, en un suelo Pardo Mullido Medianamente Lavado (Hernández *et al*., 1999). Para realizar las autofecundaciones se seleccionaron seis cultivares autocompatibles (tres precoces y tres tardíos) de procedencia genética diferente y grandes contrastes en los caracteres morfológicos. Fueron escogidos de la Colección Cubana de Germoplasma de Boniato custodiada en el INIVIT. Los cultivares seleccionados fueron:

Cultivares precoces (ciclo entre 120-135 días)

A_1 - 'INIVIT B 98-2'
A_2 - 'CEMSA 78-326'
A_3 - 'CEMSA 78-354'

Cultivares tardíos (ciclo superior a 180 días)
B_1 - 'Baracutey'
B_2 - 'Camagüeyano'
B_3 - 'Campanilla'

Tabla 1. Características de los cultivares utilizados como progenitores (S_0).

Cultivar	Color de la piel	Contenido de materia seca (%)		Longitud de entrenudos (cm)	Grosor del tallo (mm)
		120 días	180 días		
A_1	Blanco	27,9	33,1	2,9	4,8
A_2	Rojo	32,8	34,8	2,2	3,6
A_3	Blanco	29,8	32,8	2,5	9,1
B_1	Morado	19,5	31,2	3,5	8,4
B_2	Rojo	18,0	30,9	4,0	1,8
B_3	Rosado	21,3	29,5	5,1	4,6

Se realizaron 300 autofecundaciones por cultivar:
$A_1 \times A_1$
$A_2 \times A_2$
$A_3 \times A_3$
$B_1 \times B_1$
$B_2 \times B_2$
$B_3 \times B_3$
Para realizar las autopolinizaciones de los progenitores seleccionados, se cubrieron con bolsas de papel los botones florales el día antes de su apertura en horas de la tarde. A la mañana siguiente se autopolinizó de forma manual cada flor y se colocó nuevamente la bolsa de papel por un período de 24 horas, además se etiquetó indicando la fecha. Este proceso se realizó entre noviembre y diciembre de 2013. Entre 30-45 días después fueron cosechadas las semillas botánicas, las cuales fueron escarificadas en ácido sulfúrico concentrado durante 30 minutos y posteriormente lavadas con agua. Luego fueron sembradas en bolsas de polietileno. Se realizaron dos multiplicaciones agámicas, lo que permitió disponer en noviembre de 2014 de material suficiente para establecer las plantaciones de las progenies (S_1).
Se evaluó el efecto de la consanguinidad para tres ciclos de cosecha: 120; 150 y 180 días después de la plantación, es los parámetros siguientes:

- Rendimiento de raíces tuberosas comerciales ($t.ha^{-1}$)
- Peso promedio de raíces tuberosas comerciales (g)
- Número de raíces tuberosas comerciales por planta
- Masa seca de raíces tuberosas (%)
- Grosor del tallo (mm)
- Longitud de entrenudos (cm)

Para el cálculo de la Depresión consanguínea se utilizó la siguiente fórmula:
$\%DC = [(S_0-S_1)/S_0] * 100$

Donde:
%DC= depresión consanguínea
S_0 = media del progenitor
S_1 = media de la progenie

Los resultados de %DC se representaron en dependencia del progenitor:
S_1 (A_1 x A_1)
S_1 (A_2 x A_2)
S_1 (A_3 x A_3)
S_1 (B_1 x B_1)
S_1 (B_2 x B_2)
S_1 (B_3 x B_3)

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

De las 300 autopolinizaciones realizadas por cultivar, se lograron autofecundar como media 108,8 flores, lo que significa un 36,2 %. Se obtuvo un promedio de 154,5 semillas botánicas por cultivar y 1,42 semillas por cápsula. Finalmente, las progenies llevadas a condiciones de campo oscilaron entre 83 y 148 (Tabla 2).

Tabla 2. Resultados de las autopolinizaciones por cultivar.

Cultivar	AR	AL	Porcentaje que representa (%)	Semillas obtenidas	Promedio de semilla/cápsula	Progenies
A_1	300	114	38,0	155	1,35	101
A_2	300	120	40,0	180	1,50	148
A_3	300	97	32,3	112	1,15	83
B_1	300	91	30,0	164	1,80	117
B_2	300	123	41,0	141	1,14	94
B_3	300	108	36,0	175	1,62	132
Media	**300**	**108,8**	**36,2**	**154,5**	**1,42**	**112,5**

Leyenda: AR: Autopolinizaciones Realizadas, AL: Autopolinizaciones Logradas.

Arizio *et al*. (2009) obtuvieron un 37 % de efectividad en cruzamientos recíprocos entre dos cultivares de boniato, con un promedio de 1,2 semillas por cápsula.
La depresión consanguínea en el rendimiento de raíces tuberosas de la generación S_1 es más acentuada en las progenies de los cultivares tardíos en los tres ciclos de cosecha. En las progenies de los cultivares precoces la depresión consanguínea nunca sobrepasó el 24 %, mientras en la S_1 obtenida de los cultivares tardíos (B_2 x B_2) alcanzó valores de 45,3 %. La media de las progenies de los cultivares precoces en relación a la media de las progenies de cultivares tardíos, tuvo una menor depresión consanguínea de 22,94, 20,84 y 19,68 %, a los 120, 150 y 180 días respectivamente. En todas las progenies la mayor depresión consanguínea ocurrió a los 120 días, con una media general de 30,55 %, disminuyendo ligeramente hasta alcanzar su valor mínimo promedio de 23,87 % a los 180 días (Figura 1).

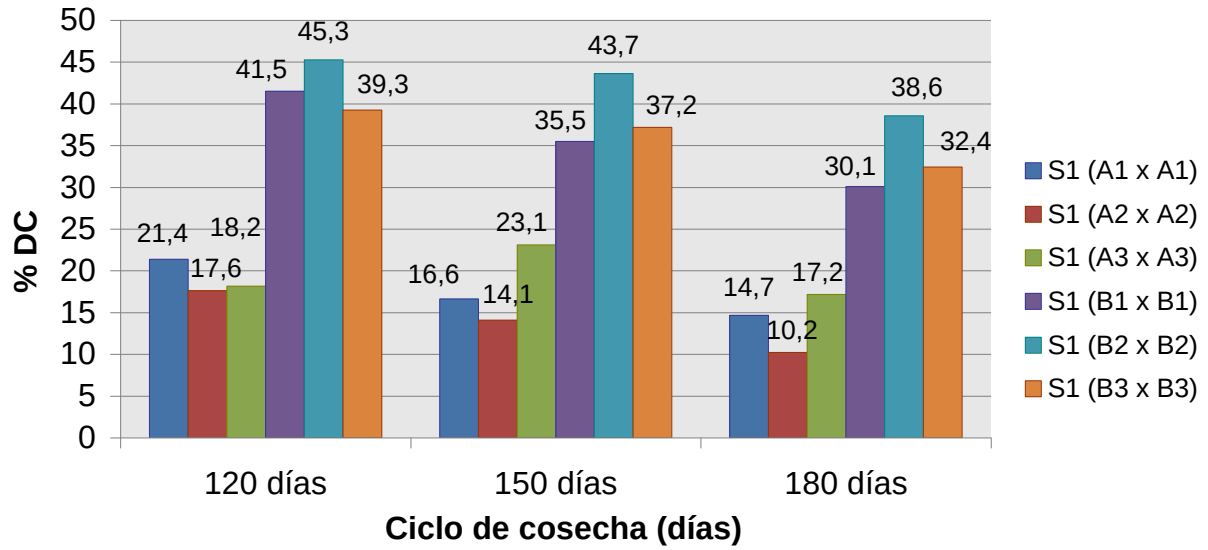


Figura 1. Depresión consanguínea en el rendimiento de raíces tuberosas comerciales en progenies de cultivares precoces y tardíos, en tres ciclos de cosecha.

Contreras (2007) refiere que en la yuca las progenies de la familia con el mayor rendimiento de raíces frescas en S_0 (88.09 $t.ha^{-1}$) manifestaron un acentuado efecto de depresión consanguínea para este carácter (76,50 %), lo cual puede ser atribuible al alto grado de heterocigosis del cultivar progenitor; mientras que una familia con un rendimiento moderado de raíces frescas en S_0 (29,80 $t.ha^{-1}$), presentó la menor depresión por endogamia (50 %), posiblemente debido a una mayor concentración de *loci* en estado homocigoto en el progenitor S_0.

La causa de la depresión consanguínea es la conjunción de dos circunstancias. Primero, que la mayoría de las mutaciones en genes funcionales son deletéreas, es decir, los alelos nuevos que se generan suelen presentar menor funcionalidad que el alelo silvestre más frecuente en la población. Segundo, que estos alelos deletéreos tienden a ser recesivos, es decir, solo manifiestan su efecto negativo en individuos homocigóticos. Los alelos deletéreos recesivos suelen estar presentes en individuos heterocigóticos portadores del alelo silvestre funcional, y la consanguinidad aumenta la probabilidad de que dichos alelos se presenten en homocigosis, con lo que manifiestan su efecto deletéreo (Caballero, 2014).

El efecto de la consanguinidad en el peso promedios de raíces tuberosas comerciales es más acentuado en las progenies procedentes de cultivares tardíos. El máximo valor alcanzado en este carácter fue de 63,3 % a los 120 días en la S_1 (B_2 x B_2). La media de la depresión consanguínea en las progenies de cultivares tardíos fue de 52,7, 44,5 y 37,1 a los 120, 150 y 180 días respectivamente. La menor depresión consanguínea se alcanzó a los 180 días con valores promedios generales de 26,68 % (Figura 2).

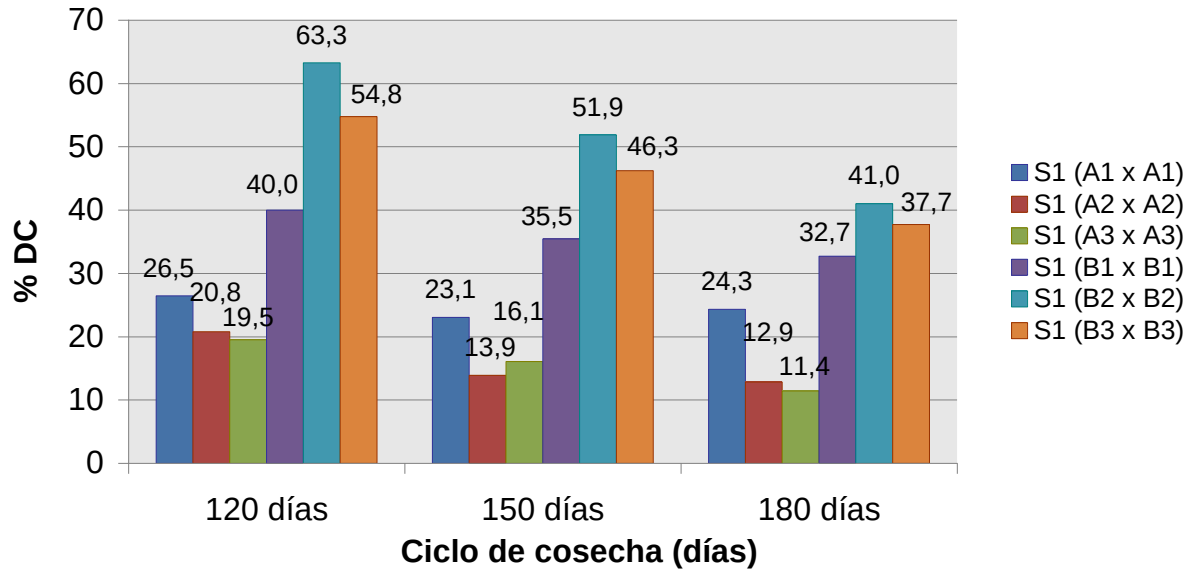


Figura 2. Depresión consanguínea en el peso promedio de raíces tuberosas comerciales en progenies de cultivares precoces y tardíos, en tres ciclos de cosecha.

La consanguinidad implica el aumento en la frecuencia de homocigotos y, con ello, la depresión consanguínea (Basantes, 2012; Caballero, 2014). Según Contreras (2007) en especies alógamas como el maíz, los genotipos homocigotos se pueden producir rápidamente, pero su rendimiento es menor que el de los cultivares híbridos que se usan para producción comercial. En la práctica se han observado reducciones en la producción de semillas, la fertilidad del polen, la tasa de crecimiento, el tamaño y vigor de las plantas, mayor susceptibilidad al ataque de las plagas, y a otros eventos depresivos en diversos caracteres (Hallauer y Filho, 1988).

No hubo una depresión consanguínea acentuada en cuanto al número de raíces tuberosas comerciales por planta en las progenies. Los valores de % DC se mantuvieron por debajo de 17 % en los tres ciclos de cosecha. Entre las progenies obtenidas de cultivares precoces y tardíos no existió diferencia en la depresión consanguínea en este carácter. Las medias generales de las progenies fueron de 12,7, 11,48 y 9,1 % a los 120, 150 y 180 días respectivamente (Figura 3).

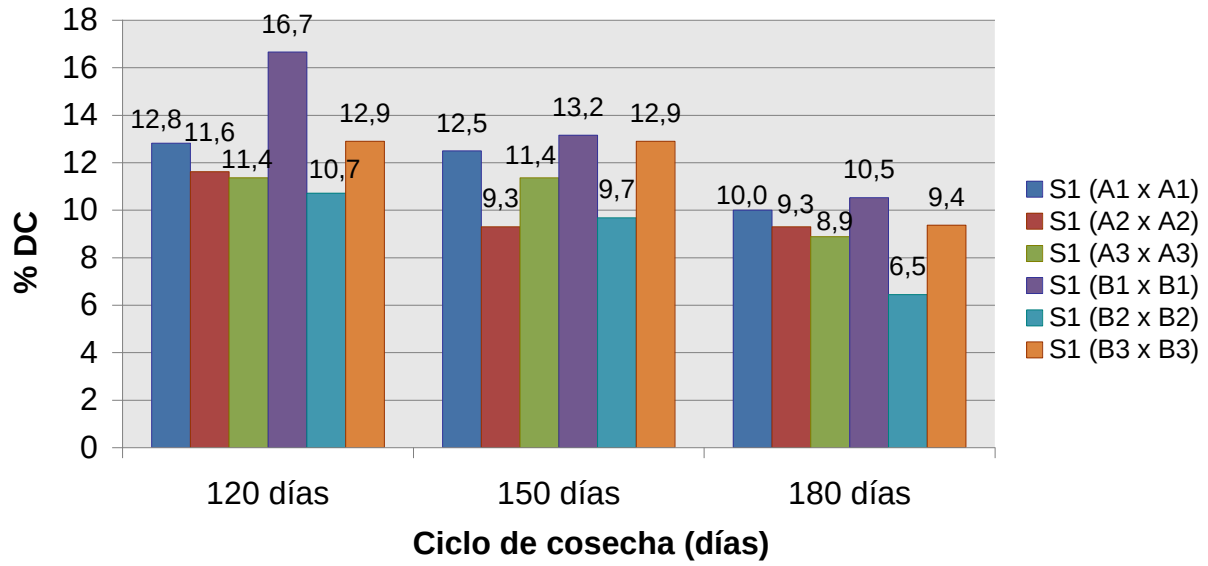


Figura 3. Depresión consanguínea en el número de raíces tuberosas comerciales por planta en progenies de cultivares precoces y tardíos, en tres ciclos de cosecha.

En cuanto al contenido de masa seca (%) en raíces tuberosas, no existió una acentuada depresión consanguínea independientemente de las progenies. El valor más alto registrado fue de 21,1 % a los 120 días en S_1 (B_2 x B_2), lo cual pudiera ser por diferencias en el nivel de heterocigosis en los *loci* que controlan este carácter. Los valores medios generales fueron 11,9, 8,8 y 7,1 % a los 120, 150 y 180 días respectivamente. En una de las progenies obtenidas de un cultivar precoz [S_1 (A_3 x A_3)] se registró un efecto ligeramente beneficioso en este carácter a los 180 días (Figura 4).

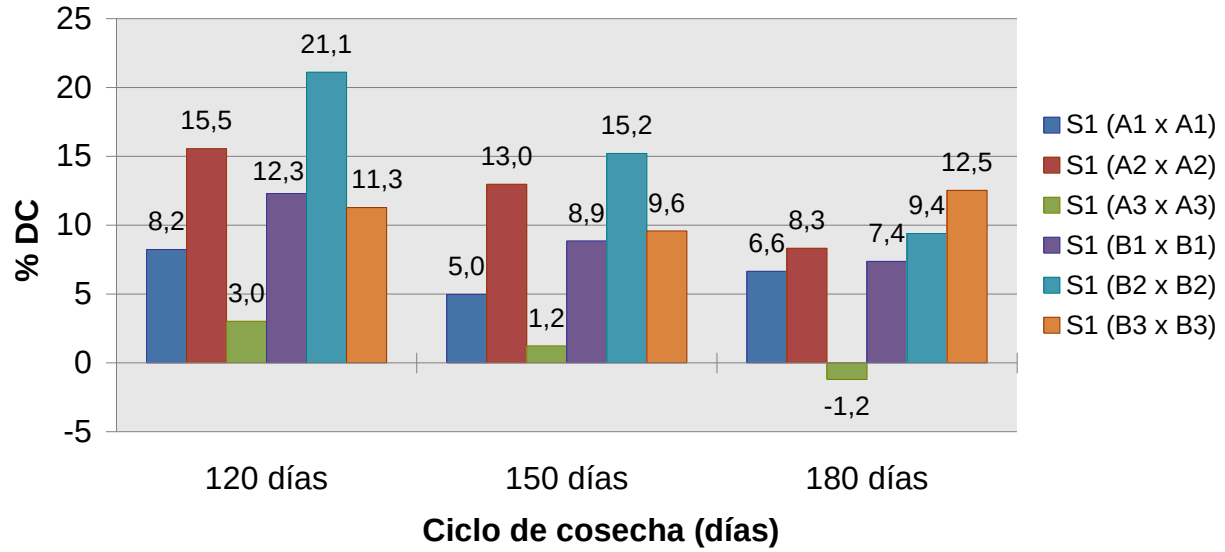


Figura 4. Depresión consanguínea en el contenido de masa seca de raíces tuberosas en progenies de cultivares precoces y tardíos, en tres ciclos de cosecha.

Contreras (2007) encontró en yuca una depresión consanguínea promedio para la materia seca de 5,57 % y el valor más acentuado fue de 20,34 %, además refiere que algunos genotipos dentro de una población pueden tener diferentes valores medios fenotípicos de depresión consanguínea.

Existieron diferencias en cuanto al grado de depresión consanguínea en el grosor del tallo entre las progenies procedentes de los cruzamientos consanguíneos. Los valores más bajos registrados del % DC estuvieron en las progenies S_1 (B_2 x B_2), al parecer su progenitor presenta un alto grado de homocigosis para este carácter. Los valores medios generales de % DC fueron de 14,6, 13,7 y 16,0 a los 120, 150 y 180 días respetivamente (Figura 5).

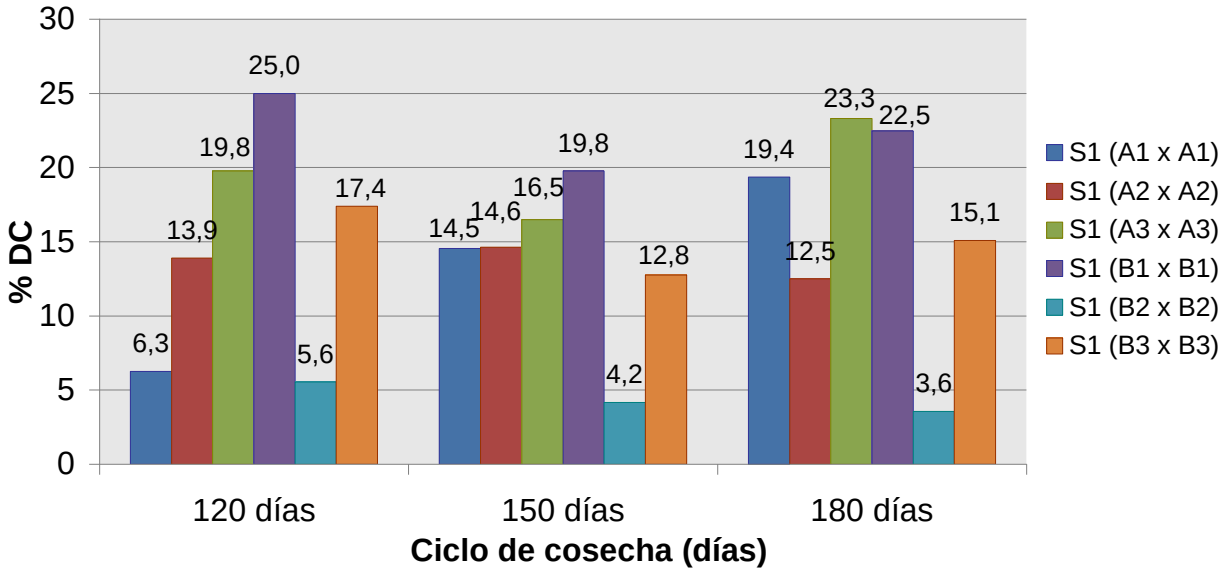


Figura 5. Depresión consanguínea en el grosor del tallo en progenies de cultivares precoces y tardíos, en tres ciclos de cosecha.

La variación en el grado de depresión por endogamia de una progenie a otra está asociada con la constitución genética del cultivar progenitor, la mayor o menor cantidad de *loci* homocigotos recesivos indeseables (carga genética) que se acumulan después del proceso de autofecundación de sus respectivos progenitores S_0 y depende de igual modo, del número de genes que controlan la expresión del carácter (complejidad) (Contreras, 2007).

La consanguinidad tuvo un efecto beneficioso en la longitud de entrenudos de las progenies, por lo que no existió depresión consanguínea en este carácter. Las medias generales de todas las progenies en los tres ciclos de cosecha oscilaron alrededor de 9,5 % (Figura 6).

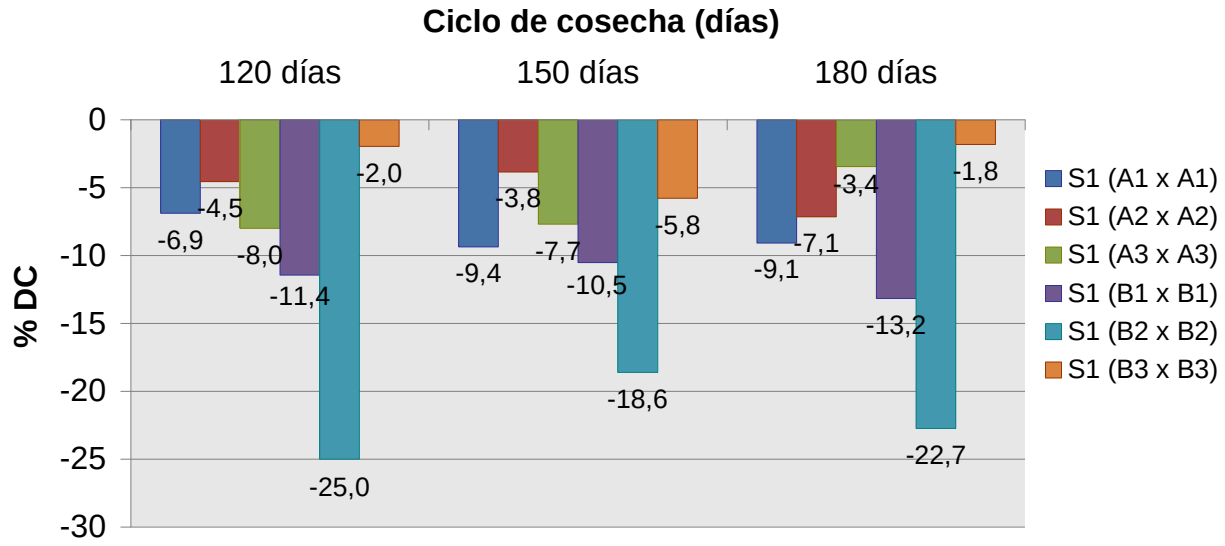


Figura 5. Depresión consanguínea en la longitud de entrenudos en progenies de cultivares precoces y tardíos, en tres ciclos de cosecha.

La autofecundación obliga a los diferentes *loci* del genoma a que vayan alcanzando progresivamente el estado de homocigosis. Esta condición puede ser perjudicial para el comportamiento del individuo, porque el vigor y la productividad disminuyen grandemente; sin embargo, este proceso tiene la ventaja de permitir la eliminación de genes deletéreos o indeseables en cada población segregante, mejorando así su característica como progenitor, pues esos genes ya no podrán ser trasmitidos a la descendencia (Ceballos *et al*., 2004). El grado de depresión consanguínea está asociado a dos factores: reducción de la heterocigocidad en *loci* que presentan dominancia génica (Falconer, 1989) y la exposición de alelos recesivos desfavorables presentes en condición heterocigota en el conjunto génico de la población (Vencovsky y Barriga, 1992).

Existieron diferencias en cuanto al grado de depresión consanguínea en el grosor del tallo entre las progenies procedentes de los cruzamientos consanguíneos. Los valores más bajos registrados del % DC estuvieron en las progenies S_1 (B_2 x B_2), al parecer su progenitor presenta un alto grado de homocigosis para este carácter.

A la luz de los resultados de la presente investigación, los cruzamientos consanguíneos (*inbreeding*) carecen de perspectivas prácticas en este cultivo, aunque en caso de ser usados debe partirse de progenitores precoces, en la búsqueda de progenies de alto rendimiento. Se considera que, por el carácter tan heterocigótico del boniato, tanto en la hibridación controlada como al azar y posterior selección, el método de autofecundación no debe ser priorizado.

CONCLUSIONES

1. La depresión consanguínea en el rendimiento de raíces tuberosas y peso promedios de raíces tuberosas comerciales es más acentuada en la generación S_1 de los cultivares tardíos en los tres ciclos de cosecha.
2. En todas las progenies la mayor depresión consanguínea en el rendimiento de raíces tuberosas ocurrió a los 120 días, con una media general de 30,55 %,

disminuyendo ligeramente hasta alcanzar su valor mínimo promedio de 23,87 % a los 180 días.

3. La consanguinidad no tuvo un efecto marcado en el número de raíces tuberosas comerciales por planta ni en contenido de masa seca en raíces tuberosas independientemente de las progenies.

BIBLIOGRAFÍA

ARIZIO, C.M.; M.M, MANIFESTO y H.R, MARTÍ. 2009. Análisis de caracteres relacionados con el color de la raíz engrosada en un cruzamiento de dos clones de *Ipomoea batatas* L. (Lam.). *Horticultura Argentina*, 28(65): 5-13.

BASANTES, L.M. 2012. Caracterización Molecular de la Colección Nacional de Camote (*Ipomoea* spp.) del Banco Nacional de Germoplasma del INIAP Mediante Marcadores Microsatélites. Para la Obtención de Grado Académico o Título de: Ingeniera en Biotecnología. Escuela Politécnica del Ejercito. Sangolquí. 152 pp.

BERSABÉ, G.D. 2015. Efecto de la selección natural sobre las consecuencias de la consanguinidad en poblaciones de censo reducido. Memoria para optar al grado de Doctor. Tesis doctoral. 185 pp.

BRADSHAW, J.E. 2010. Root and Tuber Crops. Handbook of Plant Breeding. Springer New York Dordrecht Heidelberg London. 295 pp.

CABALLERO, R.A. 2014. Genética de la Conservación. La aplicación de los conceptos de la evolución a la conservación de la diversidad biológica. *Mètode Science Studies Journal, (4):* 73-77.

CEBALLOS, H; C.A. IGLESIAS; J.C. PÉREZ y A.G. DIXON. 2004. Cassava breeding: Opportunities and challenges. *Plant Molecular Biology*, 56(4): 503-516.

CIP (Centro Internacional de la Papa). 2013. Facts and figures about sweetpotato. Disponible en: http://cipotato.org/sweetpotato/facts-2/ (última consulta: 16 de mayo de 2016).

CONTRERAS, R.M. 2007. Efecto de una generación de endogamia sobre caracteres vegetativos y productivos en yuca (*Manihot esculenta* Crantz). Trabajo de tesis presentado como requisito para optar al título de Magíster en Ciencias Agrarias con énfasis en Fitomejoramiento. Universidad Nacional de Colombia, Facultad de Ciencias Agropecuarias, Escuela de Posgrados, Sede Palmira. 67 pp.

FALCONER, D.S. 1989. Introduction to quantitative genetics. New York. Roland Press. 438.

HALLAUER, A.R. y J.B. FILHO. 1988. Quantitative Genetics in maize breeding. Ames: Iowa State University Press, 468 pp.

HERNÁNDEZ, A.; J. PÉREZ; D. BOSCH y L. RIVERO. 1999. Nueva versión de clasificación genética de los suelos de Cuba. Instituto de Suelos: AGRINFOR. La Habana, 64 pp.

MORALES, A. 2014. Mejoramiento Genético del Boniato (*Ipomoea batatas* L. Lam.) en Cuba. Curso Internacional en La Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (Corpoica). Disponible en: http://cadenahortofruticola.org/admin/bibli/916Mejoramiento_genetico_COL.pdf (Última consulta: 14 de mayo de 2016).

RAMÍREZ, L. 2006. Mejora de Plantas Alógamas. Universidad Pública de Navarra. Departamento de Producción Agraria, Edificio Los Olivos. 33 pp.

SINNOTT, E.; L. DUNN y T. DOBZHANSKY. 1968. Principios de Genética. Edición Revolucionaria, Instituto del Libro, La Habana. 5ta edición, 581 pp.

VENCOVSKY, R. y P. BARRIGA. 1992. Genética biométrica no fito melhoramento, Ribeirão Preto: Sociedade Brasileira de Genética, 496 p.