



EVALUACIÓN MORFOAGRONÓMICA DE PROGENIES DE SEMILLA BOTÁNICA DE PAPA (*Solanum tuberosum*, L.) EN CUBA

Morphoagronomic evaluation of the true potato seed progenies (*Solanum tuberosum*, L.) in Cuba

Jorge L. Salomón Díaz✉, Juan G. Castillo Hernández, Jorge A. Arzuaga Sánchez, Walfredo Torres de la Noval, Alberto Caballero Núñez y Ramiro Edison

ABSTRAC. In the crop seasons 2006-2007, 2007-2008 and 2008-2009 were planted in controlled conditions (house of culture) botanical seeds (SB) of potato obtained by hybridization and open pollination (PL). The aim of this study was to evaluate morfoagronomic characters and uniformity of tubers. We found variability in the progeny, although the hybrid progenies Atlantic x Aninca, 2-13-98 x 1-10-96 and Yara x 9-80-98 showed high uniformity of tubers color. While Atlantic x Aninca and Samila-PL showed high uniformity for tubers shape. The vigor, plant height and tubers yield could be related to the effect of heterosis or hybrid vigor in the hybrid progenies and the depressing effect of inbreeding in the progeny of PL in varying degrees.

Key words: seed, potato, free pollinated, hybrids, genetic variability

RESUMEN. Durante las campañas agrícolas 2006-2007, 2007-2008 y 2008-2009 se sembraron en condiciones semicontroladas (casa de cultivo) semillas botánica (SB) de papa obtenidas por hibridación y de polinización libre (PL). El objetivo de este trabajo fue evaluar caracteres morfoagronómicos y la uniformidad de los tubérculos. Se encontró variabilidad en las progenies, aunque las progenies híbridas Atlantic x Aninca, 2-13-98 x 1-10-96 y Yara x 9-80-98 mostraron alta uniformidad para un color del tubérculo. Mientras que Atlantic x Aninca y Samila-PL mostraron alta uniformidad para una forma del tubérculo. El vigor, la altura de la planta y rendimiento de tubérculo podrían estar relacionados al efecto de heterosis o vigor híbrido en las progenies híbridas y al efecto depresivo de la endocria en las progenies de PL en grados variables.

Palabras clave: semilla, papa, polinización libre, híbridos, variabilidad genética

INTRODUCCIÓN

La papa se cultiva en clima templado, subtropical y tropical. Es ya el tercer cultivo alimenticio más importante del mundo después del trigo y el arroz. Su principal importancia económica radica en la eleva capacidad para producir energía por unidad de superficie. Este cultivo se planta en más de 130 países donde habitan las tres cuartas partes de la población mundial (1).

M.Sc Jorge L. Salomón Díaz, Investigador Auxiliar, Dr.C. Juan G. Castillo Hernández, Investigador Agregado del departamento de Genética y Mejoramiento de Plantas; Dr.C. Jorge A. Arzuaga Sánchez, Investigador Titular del departamento de Extensionismo; Dr.C. Walfredo Torres de la Noval, Investigador Titular del departamento de Fisiología Vegetal; Dr.C. Alberto Caballero Núñez, Investigador Titular del departamento de Matemática Aplicada, Instituto Nacional de Ciencias Agrícolas, carretera a Tapaste, km 3½, gaveta postal 1, CP 32 700, San José de las Lajas, Mayabeque, Cuba; Dr.C. Ramiro Edison, Profesor Univ. Loja, Ecuador.

✉ salomon@inca.edu.cu

La papa se reproduce comercialmente a través de tubérculos-semilla para la producción de papas; sin embargo, también por vía sexual (semilla botánica o verdadera), se puede reproducir como una alternativa más (2). Ambas vías tienen ventajas y desventajas.

Los tubérculos-semilla por lo general es el insumo más costoso en la producción de papas, y en Cuba este representa el 40 % (1 500,0-1 700,0 USD por hectárea) de los costos totales de producción.

El costo producción de papa al utilizar la semilla botánica (SB) puede reducir entre un 5 y 10 % por concepto de costo de semilla (75,0-150,0 USD por hectárea).

La práctica de plantar tubérculos-semilla fue en gran parte responsable de la hambruna irlandesa de la década de 1840, y es como la mayoría de los agricultores producen clonalmente papa en la actualidad.

La papa, a través de la reproducción sexual produce una descendencia altamente variable. Como resultado, se considera cada semilla genéticamente diferente, por consiguiente la producción de tubérculo también. Pero, estos obstáculos que limitan el uso de la tecnología de SB se han eliminado, como es la uniformidad fenotípica del follaje y los tubérculos, entre otros.

El objetivo de este trabajo es evaluar la uniformidad de caracteres morfoagronómicos de algunas progenies de SB obtenidas por hibridación y por polinización libre (PL).

MATERIALES Y MÉTODOS

Durante las campañas agrícolas 2006-2007, 2007-2008 y 2008-2009 se sembraron en condiciones semicontroladas (casa de cultivo) progenies híbridas seleccionadas y de progenies de polinización libre (Tabla I). Las semillas de todas las progenies utilizadas en este estudio fueron cosechadas, secadas y almacenadas en igualdad de condiciones.

Se utilizaron macetas plásticas de 12 cm de diámetro para montar los semilleros a partir de semilla sexual o botánica de cada progenie. Se empleó como sustrato suelo y materia orgánica descompuesta a una proporción de 3:1 respectivamente, las siembras se realizaron en la primera semana de diciembre, todas las semillas se sembraron a 1 cm de profundidad, se emplearon 15 macetas por progenie y se le colocaron 50 semillas a germinar en cada una. Se seleccionaron 300 plántulas para trasplantarlas a canteros tecnificados de la casa de cultivo, el trasplante se realizó entre los 25 y 30 días, se utilizó un diseño experimental de bloques al azar con tres réplicas. Se trasplantaron 100 plantas por m² a 20 cm entre hileras y 10 cm entre plantas a razón de dos plántulas por nido^A.

Tabla I. Relación de progenies sembradas en canteros (F1)

No.	Progenie	No.	Progenie
1	2-130-98-PL	9	Gorbea x 1-10-98
2	9-80-98-PL	10	Gorbea x 6-3-98
3	Samila-PL	11	Lajera x 6-3-98
4	Yara-PL	12	Lajera x 9-80-98
5	2-130-98 x 1-10-96	13	Samila x 3-60-98
6	Atlantic x 1-10-96	14	Samila x 6-3-98
7	Atlantic x 6-3-98	15	Yara x 1-10-98
8	Atlantic x Aninca	16	Yara x 9-80-98

^ASalomón, J. L.; Rodríguez, J. M.; Rodríguez, I.; Serrano, A.; Castillo, J. y Hernández, A. Guía para la producción de tubérculos - semillas de papa a partir de semilla sexual (SSP). 1999. [Salida del informe final del proyecto PNCT, 002-00058]. Instituto de investigaciones Hortícolas "Liliana Dimitrova". La Habana, 1999. 11 p.

Se realizó una fertilización de fondo durante la conformación de los canteros con 75 g.m⁻² de fórmula completa N.P.K. (9-13-16) y a los 30 días después del trasplante se fertilizó nuevamente con 75 g.m⁻² de NPK, conjuntamente se hizo el primer aporque, posteriormente a los 50 días del trasplante se le realizó el segundo aporque. Las labores fitosanitarias fueron realizadas según la guía para la producción de tubérculos-semilla de papa a partir de semilla sexual (SSP) en Cuba.

Durante el período de germinación de las semillas se garantizaron tres riegos (0,5 L/maceta) diariamente para mantener la parte superior del sustrato donde está la semilla siempre húmedo, hasta lograr la germinación total. A partir de los 25 días el riego se realizó acorde con la guía para la producción de tubérculos-semilla de papa a partir de semilla sexual^A.

La cosecha de los tubérculos-semilla se realizó a los 90 días de trasplantadas las plántulas.

Al experimento se le evaluaron los siguientes caracteres:

Cualitativos (3):

- ♦ Color de la piel del tubérculo: rosado (Rs), rojo (R), amarillo (A).
- ♦ Forma del tubérculo: redonda (Rd), oval (Ov), alargada (AL), oblonga (O).
- ♦ Profundidad de los ojos de los tubérculos: superficiales (S), Medios (M) y profundos (P).

Cuantitativos (4):

- ♦ Porcentaje de emergencia (%). Se evaluó a los 10 días de sembradas las semillas, utilizando la fórmula siguiente:

$$\text{Emergencia (\%)} = \frac{\text{Número total de plantas germinadas}}{\text{Número total de semillas sembradas}} \times 100$$

- ♦ Altura de las plantas (cm): los datos se registraron en cinco plantas seleccionadas al azar en cada m² (parcela) a los 55-60 días de trasplantadas las plántulas. Las mediciones se hicieron desde la superficie del suelo o base del tallo hasta la yema terminal de la planta.
- ♦ Vigor de las plántulas (escala 0-9): los datos se registraron a los 30-35 días de trasplantadas las plántulas en una escala visual de 0-9. Se observaron las plántulas con estaturas diferentes, las cuales se agruparon de acuerdo con su vigor. Las plántulas muy débiles se categorizaron como 0 y las muy vigorosas como 9.
- ♦ Número de tubérculos por m²: se contó el número de tubérculos cosechado en 1 m² por cada réplica.
- ♦ Rendimiento (kg.m⁻²): se registró la masa total (kg) de los tubérculos en 1 m² por cada réplica.

Se determinó la frecuencia de aparición de las variables cualitativas y los caracteres cuantitativos fueron sometidos a un análisis de varianza de clasificación simple bajo un diseño de bloques al azar y se le aplicó la prueba de rango múltiple de Duncan al 5 % mediante el paquete estadístico MSTATC.EXE.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El análisis de varianza mostró diferencia significativa ($p \leq 0,05$) para el porcentaje de emergencia de 16 progenies a partir de la semilla sexual híbrida como de polinización libre (PL). Los resultados indicaron una variación significativa entre las progenies para la emergencia de semilla sexual durante las tres campañas (2006-2007, 2007-2008 y 2008-2009). El porcentaje de emergencia osciló entre 73 y 86 %; sin embargo, se observó que la progenie híbrida Lajera x 6-3-98 obtuvo el mayor valor en las tres campañas (83,7; 84,5 y 86 % respectivamente), teniendo diferencia significativa con el resto de las progenies de semilla híbridas y las progenies de PL. Todas las progenies, excepto Samila-PL, Atlantic x 1-10-989, Gorbea x 6-3-98 y Lajera x 9-80-98 tuvieron los mayores porcentajes de emergencia. Se puede observar que al comparar algunas progenies híbridas y progenies de PL no se mostró una diferencia significativa para el porcentaje de emergencia (Tabla II).

Algunos autores señalan resultados similares al evaluar la emergencia en progenies híbridas de papa cubanas, donde el porcentaje osciló entre 51 y 81,6 % (5).

Se plantea que las diferencias en el porcentaje de emergencia de la semilla pueden estar atribuidas fundamentalmente a los parentales involucrados en los cruces, ya que los mismos genéticamente son diferentes y pueden aportarles a su descendencia diferencias en la emergencia de las semillas (6).

Se ha señalado que para una buena emergencia de semilla sexual en altas temperaturas, el genotipo (progenie) es un factor crucial (7). Este mismo autor señaló también la influencia de otros factores fisiológicos en la emergencia como momento de cosecha de las bayas, humedad interna de la semilla, tiempo y temperatura de almacenamiento.

Otros autores reportaron porcentajes de emergencia entre 43 y 74 % tanto en progenies híbridas como en progenies de PL (8).

Uno de los factores que provoca bajos porcentajes de emergencia es la presencia en las semillas del sistema S, el mismo provoca la formación anormal del endospermo durante la formación de la semilla que conlleva al aborto y muerte del embrión (9).

Las diferencias en la emergencia de las semillas pueden ser atribuidas en este estudio a factores fisiológicos y genéticos, donde el factor genético está relacionado a los progenitores utilizados, y el fisiológico al manejo de la semilla en la cosecha y postcosecha, como por ejemplo índice de madurez, secado de la semilla, temperatura y tiempo de almacenamiento, factores que meritan ser investigado en otros estudios.

Hay que tener en cuenta en este estudio que para los cruces se utilizaron tallos florecidos en campo y colocados en recipientes con agua y antibiótico, lo que podríamos pensar que no todas las bayas obtenidas lograron alcanzar la acumulación suficiente de reserva

Tabla II. Porcentaje de emergencia en progenies de semilla sexual durante tres campañas agrícolas

No.	Progenie/campaña	Emergencia de la semilla (%)		
		2006-2007	2007-2008	2008-2009
1	2-130-98-PL	74,0 b	76,5 b	76,2 bc
2	9-80-98-PL	50,0 de	52,5 cd	49,5 e
3	Samila-PL	58,5 c	56,2 c	56,7 d
4	Yara-PL	75,0 b	73,5 b	74,7 bc
5	2-130-98 x 1-10-96	74,0 b	75,2 b	77,7 b
6	Atlantic x 1-10-96	51,7 d	49,0 de	50,0 e
7	Atlantic x 6-3-98	74,5 b	76,0 b	78,0 b
8	Atlantic x Aninca	75,0 b	76,5 b	76,0 bc
9	Gorbea x 1-10-98	76,0 b	75,2 b	74,5 bc
10	Gorbea x 6-3-98	49,2 de	44,5 e	51,7 e
11	Lajera x 6-3-98	83,7 a	84,5 a	86,0 a
12	Lajera x 9-80-98	45,7 e	51,7 cd	52,2 e
13	Samila x 3-60-98	75,2 b	74,2 b	73,0 c
14	Samila x 6-3-98	74,2 b	73,0 b	73,7 bc
15	Yara x 1-10-98	76,5 b	74,7 b	73,5 bc
16	Yara x 9-80-98	77,0 b	77,7 b	76,2 bc
	ES	$\pm 0,778^*$	$\pm 1,0325^*$	$\pm 0,6905^*$

Letras iguales no difieren significativamente según Duncan para ($p \leq 0,05$) (PL): polinización libre

interna y la maduración de la semilla porque los tallos provienen de diferentes genotipos con diferentes ciclos vegetativos.

Las progenies de semilla sexual de papa para el vigor de las plántulas mostraron diferencias significativas al nivel de probabilidad del 5 % para las campañas 2006-2007, 2007-2008 y 2008-2009. Al observar la Tabla III los resultados revelaron diferencias significativas para las 16 progenies de semilla sexual de papa, los valores de las progenies híbridas y las progenies de PL también mostraron que los híbridos fueron más vigorosos que las plántulas de PL. Las progenies híbridas lograron rango de 4,7 a 7,5, como promedio en comparación con las progenies PL que alcanzaron rango de 3,5 a 5,0 grado en la escala de vigor (Tabla III).

El vigor de las plántulas es un criterio de selección tenido en cuenta por diversos mejoradores (10), ellos lo tienen en cuenta en el momento de la selección de progenitores en los programas de mejoramiento genético para semilla sexual de papa.

La Tabla IV muestra el análisis estadístico de los datos revelando diferencia significativa ($p \leq 0,05$) para las 16 progenies de papa durante las campañas 2006-2007, 2007-2008 y 2008-2009, incluidos las progenies híbridas y las progenies de PL.

Se encontró también para la altura de plantas diferencia entre híbridos y progenies de polinización libre. La altura media total de las 16 progenies híbridas fue de 53,2 cm en comparación con 48,3 cm para cuatro genotipos con polinización abierta.

Se han reportado hallazgos similares a este estudio donde los híbridos alcanzaron valores más altos que las progenies de PL (11).

En la Tabla V se muestra el número total de minitubérculos/m²; se encontró en este carácter diferencia significativa ($p \leq 0,05$) para los 16 progenies de semilla sexual de papa.

Al comparar los valores entre las progenies de PL y las progenies híbridas, los híbridos produjeron más minitubérculos/m² que las progenies de PL.

Estudios realizados con progenies híbridas provenientes de INIA de Chile y el CIP de Perú (5), muestran entre 233 y 313 minitubérculos/m² en condiciones edafoclimáticas de Cuba.

En México se estudiaron siete progenies híbridas de semilla sexual provenientes del Centro Internacional de la Papa, en condiciones cercanas a 19° de latitud norte, 1620 m de altitud y temperatura de 16°C (12), lográndose 520 minitubérculos/m² como promedio.

Resultados similares han sido planteados por otros autores (13), quienes obtuvieron entre 222 y 533 de minitubérculos/m², cuando estudiaron 10 progenies de semilla sexual de papa durante el período lluvioso en Uganda.

Los resultados de este estudio no coinciden con los informados (14) cuando estudiaron cinco progenies híbridas de semilla sexual de papa en Venezuela a 3094 msnm, ellos plantearon entre 639 y 1674 de minitubérculos/m² en condiciones óptimas de temperatura.

Estos resultados indican la importancia relativa de los parentales, corroborando lo planteado (15) de que no se puede afirmar nada sobre un progenitor masculino o femenino al margen del cruzamiento específico en cuestión.

Tabla III. Evaluación del vigor de las plántulas (escala de 0 a 9 grados) en progenies de semilla sexual durante tres campañas agrícolas

No.	Progenie/campaña	Vigor de las plántulas (grados)		
		2006-2007	2007-2008	2008-2009
1	2-130-98-PL	3,5 e	4,2 fg	4,5 f
2	9-80-98-PL	4,0 e	4,2 fg	4,5 f
3	Samila-PL	4,0 e	4,0 g	4,0 f
4	Yara-PL	5,0 d	4,7 efg	4,5 f
5	2-130-98 x 1-10-96	5,5 d	5,2 def	4,7 ef
6	Atlantic x 1-10-96	6,5 bc	5,2 def	6,2 bcd
7	Atlantic x 6-3-98	6,5 bc	6,5 abc	5,5 de
8	Atlantic x Aninca	6,7 ab	6,7 ab	6,7 ab
9	Gorbea x 1-10-98	6,5 bc	6,5 abc	6,5 bc
10	Gorbea x 6-3-98	6,7 ab	6,7 ab	6,5 bc
11	Lajera x 6-3-98	6,5 bc	6,2 bcd	6,5 bc
12	Lajera x 9-80-98	5,7 cd	6,0 bcd	5,7 cd
13	Samila x 3-60-98	7,5 a	7,5 a	7,5 a
14	Samila x 6-3-98	6,7 ab	5,5 cde	6,2 bcd
15	Yara x 1-10-98	6,5 bc	6,2 bcd	6,5 bc
16	Yara x 9-80-98	6,5 bc	6,5 abc	6,7 ab
	ES	± 0,136*	± 0,178*	± 0,149*

Letras iguales no difieren significativamente según Duncan para ($p \leq 0,05$) (PL): polinización libre

Tabla IV. Alturas de la planta (cm) en progenies de semilla sexual durante tres campañas agrícolas

No.	Progenie/campaña	Alturas de la planta (cm)		
		2006-2007	2007-2008	2008-2009
1	2-130-98-PL	40,00 ef	41,00 ef	41,00 ef
2	9-80-98-PL	35,25 fg	36,25 fg	36,75 fg
3	Samila-PL	33,50 g	34,50 g	35,25 g
4	Yara-PL	42,75 e	43,75 e	44,25 e
5	2-130-98 x 1-10-96	43,25 e	44,25 e	44,25 e
6	Atlantic x 1-10-96	56,25 bcd	57,25 bcd	57,75 bcd
7	Atlantic x 6-3-98	66,50 a	67,50 a	67,75 a
8	Atlantic x Aninca	59,25 b	60,25 b	60,50 bc
9	Gorbea x 1-10-98	51,00 d	52,00 d	58,50 bc
10	Gorbea x 6-3-98	56,00 bcd	57,00 bcd	57,50 bcd
11	Lajera x 6-3-98	53,50 cd	54,50 cd	55,25 cd
12	Lajera x 9-80-98	53,50 cd	54,50 cd	52,50 d
13	Samila x 3-60-98	56,75 bc	60,75 b	61,50 b
14	Samila x 6-3-98	58,50 bc	56,00 bcd	55,00 cd
15	Yara x 1-10-98	55,00 bcd	57,75 bc	56,50 bcd
16	Yara x 9-80-98	59,75 b	59,50 bc	59,75 bc
	ES	± 1,675*	± 1,675*	± 1,694*

Letras iguales no difieren significativamente según Duncan para ($p \leq 0,05$)

(PL): polinización libre

Tabla V. Número total de minitubérculos/m² en progenies de semilla sexual durante tres campañas agrícolas

No.	Progenie/campaña	Número de minitubérculos/m ²		
		2006-2007	2007-2008	2008-2009
1	2-130-98-PL	123,5 efg	97,25 cd	132,3 cd
2	9-80-98-PL	77,50 g	61,00 d	69,00 d
3	Samila-PL	110,5 fg	115,3 cd	149,0 cd
4	Yara-PL	184,5 cdefg	135,0 cd	146,5 cd
5	2-130-98 x 1-10-96	199,3 bcdef	175,8 abc	223,5 abc
6	Atlantic x 1-10-96	198,0 bcdef	165,8 bcd	189,3 bc
7	Atlantic x 6-3-98	331,5 a	278,5 a	268,0 ab
8	Atlantic x Aninca	301,5 a	269,8 ab	279,0 ab
9	Gorbea x 1-10-98	307,3 ab	183,5 abc	268,5 ab
10	Gorbea x 6-3-98	231,0 abcde	164,0 bcd	198,3 abc
11	Lajera x 6-3-98	155,0 defg	198,3 abc	145,5 cd
12	Lajera x 9-80-98	259,5 abcd	254,5 ab	249,0 ab
13	Samila x 3-60-98	304,0 ab	278,5 a	295,0 a
14	Samila x 6-3-98	253,5 abcd	167,5 abcd	221,5 abc
15	Yara x 1-10-98	205,0 bcdef	157,5 bcd	195,5 abc
16	Yara x 9-80-98	293,0 abc	192,8 abc	265,5 ab
	ES	± 34,29*	± 33,51*	± 30,55*

Letras iguales no difieren significativamente según Duncan para ($p \leq 0,05$)

(PL): polinización libre

Como se muestra en la Tabla VI, las medias del rendimiento de tubérculos/m² son estadísticamente significativas al nivel de probabilidad del 5 % en las tres campañas (2006-2007, 2007-2008 y 2008-2009).

La comparación entre los híbridos y los de polinización abierta mostró diferencia en el rendimiento de tubérculos/m² para las tres campañas, de forma general las progenies híbridas alcanzaron mayores rendimientos que las progenies de PL (Tabla VI).

Estudios realizados por diferentes investigadores en Vietnam y México han planteado rendimientos entre 3 y 4 kg.m⁻² (16) similares a los obtenidos en este trabajo.

Se ha encontrado que una de las razones por las que una progenie híbridas puede no tener buenos rendimientos es debido a los cruzamientos entre y dentro de los mismos grupos taxonómicos de papa, se plantea que el grupo más heterocigótico es el de mayor rendimiento y el más estable (17), así cabe la posibilidad de que exista en estas progenies un porcentaje importante de cruces que no sean los más aptos.

Algunos autores han señalado que se ha observado que las plantas de polinización cruzada producen más rendimientos que las procedentes de autopolinización, independientemente del método de siembra utilizado (18).

Tabla VI. Rendimiento de minitubérculos (kg/m²) en progenies de semilla sexual durante tres campañas agrícolas

No.	Progenie/campaña	Rendimiento (kg.m ⁻²)		
		2006-2007	2007-2008	2008-2009
1	2-130-98-PL	1,98 d	1,89 d	1,83 c
2	9-80-98-PL	2,03 d	1,99 cd	1,92 c
3	Samila-PL	2,07 cd	2,27 bcd	2,12 bc
4	Yara-PL	3,24 abcd	2,37 bcd	1,89 c
5	2-130-98 x 1-10-96	3,20 abcd	3,17 abcd	3,18 abc
6	Atlantic x 1-10-96	4,15 ab	3,55 abcd	3,42 ab
7	Atlantic x 6-3-98	4,64 a	4,45 a	4,19 a
8	Atlantic x Aninca	4,07 ab	4,12 a	4,37 a
9	Gorbea x 1-10-98	2,99 bcd	3,73 ab	2,99 abc
10	Gorbea x 6-3-98	3,61 ab	2,35 bcd	3,26 abc
11	Lajera x 6-3-98	2,12 cd	3,64 abc	2,12 bc
12	Lajera x 9-80-98	4,22 ab	3,95 ab	4,22 a
13	Samila x 3-60-98	4,25 ab	4,76 a	4,25 a
14	Samila x 6-3-98	4,38 ab	3,28 abcd	3,59 a
15	Yara x 1-10-98	3,49 abc	3,44 abcd	3,38 ab
16	Yara x 9-80-98	3,69 ab	3,43 abcd	3,39 ab
	ES	±0,445*	±0,508*	±0,436*

Letras iguales no difieren significativamente según Duncan para ($p \leq 0,05$)
(PL): polinización libre

Resultados similares se han planteado con rendimientos que oscilaron entre 3,9 y 12,6 kg.m⁻², durante el período lluvioso en Uganda cuando se estudiaron 10 progenies híbridas de semilla sexual de papa (13).

Se evaluaron progenies de semilla sexual de papa en Nicaragua y Perú respectivamente (19), seleccionando progenies con buen comportamiento y adaptación para esas condiciones, resultados similares han sido obtenidos en este trabajo con progenies con estable y adecuado rendimiento para las condiciones edafoclimáticas de Cuba.

En la Tabla VII se muestran los grados de afectación en el follaje por el hongo *Alternaria solani*, las medias fueron significativamente diferentes ($p \leq 0,05$) para las 16 progenies de semilla sexual de papa.

Los resultados encontrados en este estudio indican que existen importantes afectaciones en el follaje de las progenies (grado entre 4 y 7,8) ante el hongo *Alternaria solani* en condiciones de campo, lo que podría ser debido a la utilización de progenitores susceptibles a este patógeno en los cruzamientos, resultados que coinciden con estudios realizados (20, 21), donde los mismos han planteado la existencia de progenies no resistentes a este hongo, puesto que ninguna de las variedades utilizadas en el programa de mejoramiento presentan alta resistencia en campo; sin embargo, no se han aprovechado las potencialidades de las especies silvestres en el programa cubano (22).

La alta incidencia de esta enfermedad en el país se debe, entre otros aspectos, al elevado nivel de plantas hospederas en las cuales pueden permanecer los conidios por largos períodos de tiempo (21), y a los altos niveles de esporulación de estos, producidos por los cambios bruscos de temperatura y humedad relativa, todo lo cual permite un aumento de la tasa de diseminación de los mismos (23).

En la Tabla VIII se observaron las diferentes formas de tubérculos de las progenies híbridas y progenies de polinización libre (PL), se encontraron tubérculos redondos, ovales, alargados y oblongos en estas progenies.

Estas son las formas más comunes para las variedades cultivadas en el país (20). Las progenies híbridas Atlantic x Aninca y Samila-PL se clasifican como muy uniforme, por presentar porcentajes altos para una forma de tubérculo, y las progenies híbridas Lajera x 6-3-98, Lajera x 9-80-98 y 2-130-98-PL se clasifican como uniformes por presentar valores iguales o superiores al 50 %.

Se presentaron y clasificaron como pocos uniformes el resto de las progenies por presentar porcentajes similares en, al menos, tres formas de tubérculos de las cuatro observadas.

Los mayores porcentajes se presentaron en la forma oval y oblonga, esto puede deberse a que la mayoría de los progenitores en cuestión presentan al menos una de estas dos formas, producto de la selección ejercida por los mejoradores a favor de estas formas de tubérculo en los programas de mejoramiento en Cuba y en otros a nivel mundial. Estos resultados coinciden con lo planteado por algunos autores (24), quienes alegan predominio de la forma oval en los tubérculos en evaluaciones de accesiones cultivadas del germoplasma cubano de papa.

Estos resultados coinciden con otros autores (25), quienes reportaron que la forma redonda predominó en los cruces donde uno de los progenitores, y preferentemente el progenitor femenino presentaba forma redonda, resultado que podría deberse al efecto materno o a un gen simple para el largo del tubérculo no transmitido.

Tabla VII. Comportamiento ante *Alternaria solani* en progenies de semilla sexual durante tres campañas agrícolas

No.	Progenie/campaña	<i>Alternaria solani</i> (escala de 1 a 9 grados)		
		2006-2007	2007-2008	2008-2009
1	2-130-98-PL	6,5 bc	6,5 bc	5,0 efg
2	9-80-98-PL	7,5 a	7,8 a	7,0 a
3	Samila-PL	5,7 cd	5,8 cd	5,5 cdef
4	Yara-PL	7,0 ab	7,1 ab	6,3 abc
5	2-130-98 x 1-10-96	6,0 cd	6,1 cd	5,8 cde
6	Atlantic x 1-10-96	4,7 ef	4,9 ef	4,8 fgh
7	Atlantic x 6-3-98	4,5 fg	4,5 fg	4,0 h
8	Atlantic x Aninca	5,2 def	5,3 def	5,0 efg
9	Gorbea x 1-10-98	5,2 def	5,3 def	5,8 cde
10	Gorbea x 6-3-98	6,0 cd	6,2 cd	6,8 ab
11	Lajera x 6-3-98	5,5 de	5,5 de	4,5 gh
12	Lajera x 9-80-98	5,7 cd	5,8 cd	5,8 cde
13	Samila x 3-60-98	4,0 g	4,3 g	5,0 efg
14	Samila x 6-3-98	4,0 g	4,2 g	5,3 defg
15	Yara x 1-10-98	6,0 cd	6,2 cd	6,0 bcd
16	Yara x 9-80-98	6,0 cd	6,2 cd	6,0 bcd
	ES	± 0,247*	± 0,244*	± 0,282*

Letras iguales no difieren significativamente según Duncan para ($p \leq 0,05$)
(PL): polinización libre

Tabla VIII . Frecuencia (%) de la forma del tubérculo en progenies de semilla sexual durante tres campañas agrícolas

Progenie/forma	Fenotipo parental		Fenotipo de la progenie				Significación	Es
	Madre	Padre	Rd	Ov	AL	O		
2-130-98-PL	Ov	-	3 b	51 a	4 b	42 a	$p < 0,050$	± 0,3
9-80-98-PL	Ov	-	23 b	48 a	7 c	22 b	$p < 0,050$	± 0,3
Samila-PL	Ov	-	8 c	62 a	5 c	25 b	$p < 0,050$	± 0,3
Yara-PL	O	-	39 a	22 a	3 c	36 a	$p < 0,050$	± 0,3
2-130-98 x 1-10-96	Ov	Ov	19 a	36 a	5 b	40 a	$p < 0,050$	± 0,3
Atlantic x 1-10-96	Rd	Ov	42 a	28 b	5 c	25 b	$p < 0,050$	± 0,3
Atlantic x 6-3-98	Rd	O	30 a	28 a	4 b	38 a	$p < 0,050$	± 0,3
Atlantic x Aninca	Rd	Ov	12 b	74 a	1 c	13 b	$p < 0,050$	± 0,3
Gorbea x 1-10-96	O	Ov	27 a	30 a	8 b	35 a	$p < 0,050$	± 0,3
Gorbea x 6-3-98	O	O	28 b	24 b	18 b	30 a	$p < 0,050$	± 0,3
Lajera x 6-3-98	Ov	O	10 c	57 a	8 b	25 b	$p < 0,050$	± 0,3
Lajera x 9-80-98	Ov	Ov	31 b	52 a	1 d	16 c	$p < 0,050$	± 0,3
Samila x 3-60-98	Ov	O	27 a	29 a	7 b	37 a	$p < 0,050$	± 0,3
Samila x 6-3-98	Ov	O	23 b	14 b	46 a	16 b	$p < 0,050$	± 0,3
Yara x 9-80-98	O	Ov	29	29	22	20	$p < 0,050$ ns	± 0,3
Yara x 1-10-96	O	Ov	26 a	35 a	5 b	34 a	$p < 0,050$	± 0,3

Letras iguales no difieren significativamente según Duncan para ($p \leq 0,05$)
PL= polinización libre, Rd= redondo, Ov= oval, AL= alargado, O= oblongo

La forma del tubérculo es un elemento importante en un programa de mejoramiento, pues la selección de variedades es realizada en base a los diferentes mercados (europeo, americano, etc.) los mismos tienen preferencia por determinadas formas, ya sea para consumo fresco o para uso industrial (26).

El auge de la industria del procesamiento de la papa a nivel internacional, está demandando variedades con formas redondas para chips y alargadas para bastones (27).

Se observan en la Tabla IX los porcentajes de la frecuencia de aparición de las diferentes profundidades de los ojos de los tubérculos. En los dos tipos de progenies (híbridas y PL) predominaron los ojos superficiales y los ojos con profundidad media.

Aunque predominan ojos superficiales y ojos de profundidad media, resultado que podrían deberse a que los genotipos de papa que fueron utilizados como progenitores son ya variedades y clones promisorios que fueron sometidos a selección para ojos superficiales y medio en el programa de mejoramiento genético cubano, también se obtuvo como resultado en este estudio progenies con ojos profundos lo que podría deberse a que es necesario dos genes complementarios para ojos superficiales; sin embargo, Ross (1986) y Howard (1978) citado por otros autores (8) indicaron que los profundos dominan sobre los superficiales. Estos resultados indican que la herencia de este carácter no está definida (9).

En los programas de mejoramiento se trata de obtener variedades con ojos superficiales, con el objetivo de responder al mercado, pues es un carácter que influye en la calidad final del producto logrando que el pelado del tubérculo sea más fácil, y haya menos pérdidas de materia prima ya sea para consumo fresco o para procesamiento industrial (20).

En la Tabla X, se muestran las frecuencias de aparición de los diferentes colores de la piel del tubérculo. En las progenies en estudio se presentaron tres colores (rojo, rosado y amarillo) predominando el color amarillo seguido del rojo. Se encontró variabilidad en las progenies, aunque las progenies híbridas Atlantic x Aninca, 2-13-98 x 1-10-96 y Yara x 9-80-98 mostraron alta uniformidad para un color del tubérculo. El resto de las progenies fueron poco uniformes.

Los resultados pueden deberse a que los progenitores utilizados presentan coloración amarilla o rojiza en los tubérculos, producto de la selección ejercida por los mejoradores a favor de estos colores en los programas de mejoramiento en Cuba y en otros programas a nivel mundial.

Las pigmentaciones rojizas en los tubérculos, tallos, grelos y flores se deben a la presencia de antocianinas (28).

Existen diversos criterios con respecto a la dominancia en el color de la piel de los tubérculos; según Howard (1970) citado por otros autores (8), el color amarillo es dominante sobre el rojo; sin embargo, se plantea que las coloraciones rojizas dominan sobre las amarillas y que esto depende de la constitución genética de los progenitores (28).

Los resultados alcanzados coinciden con los encontrados por diversos autores, quienes encontraron altos porcentajes de tubérculos de coloraciones amarillas al estudiar la estabilidad de las

descendencias cuando utilizaron incluso variedades de tubérculos rojos (8).

Los resultados para el color de la piel del tubérculo coinciden de los obtenidos cuando se encontraron altos porcentajes de tubérculos de coloración amarilla al estudiar el comportamiento de cruces entre progenitores tetraploides de papa para su uso en un programa de semilla sexual en Cuba (29).

CONCLUSIONES

Se encontró variabilidad en las progenies, aunque las progenies híbridas Atlantic x Aninca, 2-13-98 x 1-10-96 y Yara x 9-80-98 mostraron alta uniformidad para un color del tubérculo. Mientras que Atlantic x Aninca y Samila-PL mostraron alta uniformidad para una forma del tubérculo. El vigor, la altura de la planta y rendimiento de tubérculo podrían estar relacionados al efecto de heterosis o vigor híbrido en las progenies híbridas y al efecto depresivo de la endocría en las progenies de PL en grados variables.

REFERENCIAS

1. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO). Crops statistics database. [Consultado: 5 octubre 2011]. Disponible en: <<http://faostat.fao.org/>>. 2010.
2. Almekinders, C. J. M. On flowering and true potato seed production (*Solanum tuberosum*, L.). Wageningen Agricultural University. Wageningen, Netherlands, 1995. 133 p.
3. Huamán, Z. y Gómez, R. Descriptores de papa para la caracterización básica de colecciones nacionales. Edición actualizada. Centro Internacional de la Papa (CIP), Lima. 1994, p. 10.

Tabla IX. Frecuencia (%) de la profundidad de los ojos del tubérculo en progenies de semilla sexual durante tres campañas agrícolas (2006-2007, 2007-2008 y 2008-2009)

Progenie/Profundidad ojo	Fenotipo parental		Fenotipo de la progenie			Significación	Es
	Madre	Padre	S	M	P		
2-130-98-PL	S	-	69 a	26 b	6 c	p<0,050	± 0,3
9-80-98-PL	S	-	61 a	32 b	8 c	p<0,050	± 0,3
Samila-PL	M	-	51 a	37 b	13 c	p<0,050	± 0,3
Yara-PL	S	-	59 a	34 b	8 c	p<0,050	± 0,3
2-130-98 x 1-10-96	S	S	47 a	30 b	24 b	p<0,050	± 0,3
Atlantic x 1-10-96	S	S	62 a	24 b	15 b	p<0,050	± 0,3
Atlantic x 6-3-98	S	M	54 a	27 b	20 b	p<0,050	± 0,3
Atlantic x Aninca	S	S	67 a	31 b	3 c	p<0,050	± 0,3
Gorbea x 1-10-96	S	S	59 a	33 b	9 c	p<0,050	± 0,3
Gorbea x 6-3-98	S	M	50 a	32 b	19 c	p<0,050	± 0,3
Lajera x 6-3-98	M	M	56 a	39 b	6 c	p<0,050	± 0,3
Lajera x 9-80-98	M	S	48 a	41 a	11 b	p<0,050	± 0,3
Samila x 3-60-98	M	S	50 a	37 b	14 c	p<0,050	± 0,3
Samila x 6-3-98	M	M	50 a	35 b	16 c	p<0,050	± 0,3
Yara x 1-10-96	S	S	56 a	33 b	12 c	p<0,050	± 0,3
Yara x 9-80-98	S	S	46 a	34 b	21 c	p<0,050	± 0,3

Letras iguales no difieren significativamente según Duncan para ($p \leq 0,05$)
 PL=polinización libre, S= superficiales, M= medio, P= profundo

Tabla X. Frecuencia (%) del color del tubérculo en progenies de semilla sexual durante tres campañas agrícolas (2006-2007, 2007-2008 y 2008-2009)

Progenie/color	Fenotipo parental		Fenotipo de la progenie			Significación	Es
	Madre	Padre	Rs	R	A		
2-130-98-PL	Rs	-	44 a	13 b	44 a	p<0,050	± 0,3
9-80-98-PL	Rs	-	41 a	31 a	29 b	p<0,050	± 0,3
Samila-PL	A	-	38 a	22 b	41 a	p<0,050	± 0,3
Yara-PL	Rs	-	40 a	17 b	44 a	p<0,050	± 0,3
2-130-98 x 1-10-96	Rs	A	48 a	25 b	28 b	p<0,050	± 0,3
Atlantic x 1-10-96	A	A	33 b	22 c	46 a	p<0,050	± 0,3
Atlantic x 6-3-98	A	A	42 a	27 b	35 ab	p<0,050	± 0,3
Atlantic x Aninca	A	A	7 b	6 b	88 a	p<0,050	± 0,3
Gorbea x 1-10-98	A	A	26 b	26 b	49 a	p<0,050	± 0,3
Gorbea x 6-3-98	A	A	28 b	22 b	51 a	p<0,050	± 0,3
Lajera x 6-3-98	A	A	26 b	18 b	57 a	p<0,050	± 0,3
Lajera x 9-80-98	A	Rs	41 a	12 b	48 a	p<0,050	± 0,3
Samila x 3-60-98	A	A	32	31	38	p<0,050 ns	± 0,3
Samila x 6-3-98	A	A	33 ab	26 b	42 a	p<0,050	± 0,3
Yara x 1-10-98	Rs	A	43 a	19 b	38 a	p<0,050	± 0,3
Yara x 9-80-98	Rs	Rs	64 a	14 c	23 a	p<0,050	± 0,3

Letras iguales no difieren significativamente según Duncan para ($p \leq 0,05$)

PL=polinización libre, Rs = rosado, R= rojo, A= amarillo

4. Cabello, R. Producción de semilla botánica de papa. En: Fascículo Manual de producción con semilla botánica. Lima: Centro Internacional de la Papa (CIP). 1996, p. 1-7.
5. Salomón, J. L.; Estévez, A.; González, M. E. y Castillo, J. G. Comportamiento de progenies híbridas de papa (*Solanum tuberosum*, L.) a partir de semilla botánica. *Cultivos Tropicales*, 2002, vol. 23, no. 2, p. 59-61.
6. Gaur, P. y Pandey, Z. True potato seed (TPS) technology. En: *Advances in Horticulture*. India: CIPRI, 1993, p. 17-28.
7. Pallais, N. True potato seed: a global perspective. *CIP Circular*, 1994, vol. 20, no. 1, p. 1-3.
8. Estévez, A.; González, M. E.; Nimubona, N. y Castillo, J. Obtención y evaluación de progenies semilla sexual de papa. Parte I. *Cultivos Tropicales*, 1996, vol. 17, no.1, p. 60-64.
9. Estrada, N. La biodiversidad en el mejoramiento genético de la papa. Eds.: Hardy, B. y Martínez, E. 2000, 372 p.
10. Pandey, S. K. y Gupta, P. K. Studies in character association for selection on TPS populations. *Journal Indian Pot. Assoc.*, 1996, vol. 23, no. 1 y 2, p. 15-19.
11. Love, S.; Werner, B. y Pavek, J. Selection for individual traits in the early generations of a potato breeding program dedicated to producing cultivars with tubers having long shape and russet skin. *Amer. Pot. Jour.*, 1997, vol. 74, no. 3, p. 199-213.
12. Sarquiz, J. y Coria, N. Comparación de progenies de papa para la producción de tubérculos-semilla y rendimiento comercial. *Revista Fitotecnia Mexicana*, 2005, vol. 28, no. 2, p. 93-98.
13. Sikka, L. C.; Bhagari, A. S.; Ssebuliba, J. M. y Kanzikwera, R. Potato production from true potato seed. En: *International Society for Tropical Root Crops (ISTRIC)*. Wageningen: Netherlands. 1994, p. 484-489. ISBN 978-131-094-4.
14. González, L.; Niño, L.; Villamizar, E.; Suárez, F.; Acevedo, E. y Prieto, L. Evaluación de progenies de semilla sexual de papa (*Solanum tuberosum* L.) en el Estado Mérida, Venezuela. *Bioagro*, 2010, vol. 22, no. 3, p. 12-21.
15. Sarquiz, J. y López, F. Evaluación de características en planta, tubérculo y rendimiento para progenies de semilla sexual de papa (*Solanum tuberosum*, L.) en valle alto del centro de México. *Revista Latinoamericana de la papa*, 1999, vol. 11, no. 1, p. 26-39.
16. Mendoza, H. A. Genética cuantitativa y mejoramiento de papas autotetraploides. En: *Genética cuantitativa y mejoramiento de papas autotetraploides (7: 2008, 3 diciembre, Mar del Plata, Argentina, Memorias del XXIII Congreso de la Asociación Latinoamericana de la Papa y VI Seminario de Uso y Comercialización de la papa, Mar del Plata, Argentina, 2008. p. 53. ISBN 978-987-544-275-7.*
17. Golmirzaie, A. y Ortíz, R. Inbreeding and true seed in tetrasomic potato. III. Early selection for seedling vigor in open pollinated populations. *Theor. Appl. Genet.*, 2002, vol. 21, no. 4, p. 157-160.
18. Torres, F. Tecnología y diversidad de papa en trópicos cálidos. En: *Semilla sexual (Botánica) como sistema de producción de papa y conservación de su diversidad en la sierra de Piura*. Central Peruana de Servicios. Piura, Perú: CEPESER. 2002, 58 p.
19. Estévez, A.; González, M. E.; Castillo, J. y Salomón, J. Anita, una nueva variedad cubana de papa. *Cultivos Tropicales*, 2006, vol. 27, no. 1, p. 69-70.
20. Castillo, J.; Estévez, A.; González, M. E. y Salomón, J. Grettel, una nueva variedad cubana de papa para el consumo fresco e industrial. *Cultivos Tropicales*, 2006, vol. 27, no. 2, p. 63-64.
21. Castillo, J.; Estévez, A.; Salomón, J.; Pérez, A. y Ortíz, Ú. Caracterización morfoagronómica del germoplasma cubano de papa (*Solanum tuberosum* L.). Evaluación de las accesiones cultivadas. Parte II. *Cultivos Tropicales*, 2007, vol. 28, no. 4, p. 69-73.

22. Pérez, W.; Raymundo, A.; Huamán, Z.; Nelson, R. y Bonierbale, M. Evaluation of wild potato species for resistance to late blight. En: "Scientist and farmer: Partners in research for the 21st century". Lima, Perú: Program Report, 1999-2000. 2007. p. 49-62.
23. Bernal, A.; Martínez, B.; Pérez, S. y Rivas, E. Un método para inducir esporulación *in vitro* in aislados de *Alternaria solani* Sor. *Centro Agrícola*, 2002, vol. 29, no. 2, p. 88-89.
24. Salomón, J.; Estévez, A.; González, M. E.; Castillo, J.; Quiñones, Y.; Ortiz, U.; Varela, M. y Bonierbale, M. Selección de clones promisorios de papa con resistencia a los principales virus en Cuba. *Cultivos Tropicales*, 2004, vol. 25, no. 1, p. 71-75.
25. Ross, A. F. The need for characterisation and evaluation of germplasm: kiwifruit as an example. *Euphytica*, 2007, vol. 154, no. 3, p. 371-382.
26. Struik, P.; Van der Putten, P.; Caldiz, D. O. y Scholte, K. Response of Stored **Potato** Seed Tubers from Contrasting Cultivars to Accumulated Day-Degrees. *Crop. Sci.*, 2006, vol. 46, p. 1156-1168.
27. Ortiz, R. y Golmirzaie, A. M. Genetic parameters for agronomic characteristics. I. Early and intermediate breeding populations of true potato seed. *Hereditas*, 2003, vol. 139, no. 3, p. 212-216.
28. Jong, H. de y Tai, G. C. Evaluation of potato hybrids obtained from tetraploid-diploid crosses in an incomplete mating design in parent offspring relationships. *Plant Breeding*, 1991, vol. 7, p. 177-182.
29. Castillo, J.; Estévez, A.; González, M. E.; Salomón, J. L.; Ortiz, E. y Ortiz, Ú. Comportamiento de cruces entre progenitores tetraploides de papa (*Solanum tuberosum*, L.) para su uso en un programa de semilla sexual en Cuba. *Cultivos Tropicales*, 2003, vol. 24, no. 2, p. 71-75.

Recibido: 23 de mayo de 2012

Aceptado: 1 de abril de 2013

¿Cómo citar?

Salomón Díaz, Jorge L.; Castillo Hernández, Juan G.; Arzuaga Sánchez, Jorge A.; Torres de la Noval, Walfredo; Caballero Núñez, Alberto y Edison, Ramiro. Evaluación morfoagronómica de progenies de semilla botánica de papa (*Solanum tuberosum*, L.) en Cuba. *Cultivos Tropicales*, 2014, vol. 35, no. 1, p. 75-84.