

DESARROLLO Y RENDIMIENTO DE PAPA EN RESPUESTA A LA SIEMBRA DE SEMILLA-TUBÉRCULO INMADURA

Sigfrido David Morales-Fernández¹; Rafael Mora-Aguilar^{2†}; Juan Enrique Rodríguez-Pérez²; Yolanda Salinas-Moreno³; Ma. Teresa Colinas-León²; Héctor Lozoya-Saldaña²

¹Cader-Cuapiaxtla, SAGARPA. Valentín Gómez Farías Núm. 30, Barrio San Antonio, Cuapiaxtla, Tlaxcala. C.P. 90560. MÉXICO.

²Instituto de Horticultura. Departamento de Fitotecnia. Universidad Autónoma Chapingo. km 38.5 Carretera México-Texcoco. Chapingo, Estado de México. C. P. 56230, MÉXICO. Correo-e: r.moraaguilar@gmail.com (*Autor para correspondencia).

³Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias. Laboratorio de Calidad. km. 38.5 Carretera México-Texcoco. Chapingo, Estado de México. C. P. 56230. MÉXICO.

RESUMEN

Con el uso de minitubérculos para la producción de semilla de papa, en condiciones controladas, se pueden obtener plantas sanas, vigorosas y productivas, y reducir el número de multiplicaciones en campo, lográndose mayor disponibilidad de semilla a corto plazo. El objetivo de esta investigación fue determinar, en condiciones de invernadero, el efecto que tiene la siembra de semilla-tubérculo inmadura sobre el desarrollo y rendimiento de papa. Se evaluaron cuatro grados de madurez de la semilla-tubérculo: a los 22, 37, 51 y 63 días después del inicio de la tuberización (madurez uno, dos tres y cuatro, respectivamente), en las variedades Alpha, Atlantic, Mondial y Vivaldi. Se usó el diseño de bloques completos al azar, y el análisis se hizo como serie de experimentos. La duración del ciclo biológico, en grados día (GD), fue mayor en las plantas generadas por la semilla-tubérculo con menor grado de madurez (GD) y en la variedad Alpha (GD), debido a la mayor duración, con grado de madurez uno, de la etapa vegetativa (165 GD) y reproductiva final (825 GD); además, en esta variedad se obtuvieron más tubérculos por planta. El peso total de tubérculos por planta fue similar al utilizar semilla-tubérculo con grado de madurez uno, dos y cuatro (249 a 273 g); sin embargo, entre variedades, Mondial tuvo mayor rendimiento (316 g). Con mayor inmadurez de la semilla-tubérculo aumentó la duración del ciclo biológico y la producción de tubérculos por planta, y disminuyó la acumulación de biomasa en la parte aérea de la planta.

PALABRAS CLAVE ADICIONALES: *Solanum tuberosum* L., grado de madurez, variedades, fenología, rendimiento, invernadero.

POTATO DEVELOPMENT AND YIELD IN RESPONSE TO SOWING IMMATURE TUBER-SEED

ABSTRACT

Using mini-tubers for potato seed production under controlled conditions healthy, vigorous and productive plants can be obtained and the number of multiplications in the field can be reduced to achieve greater availability of seeds in the short term. The study was conducted to determine, the effect of sowing immature tuber-seed on the development and yield of potato under greenhouse conditions. Four degrees of tuber-seed maturity were evaluated: 22, 37, 51 and 63 days after tuber initiation (maturity of one, two, three and four, respectively), in Alpha, Atlantic, Mondial and Vivaldi varieties. A complete randomized block design was used and a statistical analysis as series of experiments was done. Duration of the biological cycle in degree days (DD) was longer in plants produced by tuber-seed with the lower degree of maturity (1230 DD). In the Alpha variety DD was 1246 because in with tuber-seed maturity degree one, the vegetative stage (165 DD) and reproductive final stage (825 DD) were more prolonged. In addition, the Alpha variety produced more tubers per plant. The total weight of tubers per plant was similar in the tuber-seed with maturity degree one, two and four (249 to 273 g); however, among varieties, Mondial had the highest yield (316 g). The younger the tuber-seed used, the longer the biological cycle and the more the tubers per plant. Also, accumulated biomass of the aboveground part of the plant decreased.

ADDITIONAL KEY WORDS: *Solanum tuberosum* L., degree of seed maturity, varieties, phenology, yield, greenhouse.

INTRODUCCIÓN

La papa (*Solanum tuberosum* L.) es el cuarto cultivo más importante en el mundo (Suttle, 2008), por su valor alimenticio, ya que es rico en carbohidratos, proteínas, minerales y vitaminas, y por la importancia económica que representa para los agricultores (Fernie y Willmitzer, 2001).

El crecimiento y desarrollo de la papa ocurre a través de una serie de fases y etapas fenológicas, controladas por factores genéticos, ambientales y su interacción (Kolbe y Stephan-Beckmann, 1997). El inicio y plena tuberización son procesos básicos para la producción de tubérculo de papa, y particularmente críticos en áreas con períodos de crecimiento reducidos. La tuberización se promueve en condiciones de fotoperíodo corto y temperatura fresca (18 °C), ya que se activa una señal transmisible en la región subapical del estolón que inicia la división celular, la expansión y el cambio de orientación del crecimiento de células, lo que resulta en la formación del tubérculo (Hannapel *et al.*, 2004).

La falta de semilla-tubérculo con alguna categoría de registro, es uno de los principales problemas que tiene el cultivo de papa, sobre todo en los países en vías de desarrollo, como es el caso de México. El uso de minitubérculos, en los programas de producción de semilla en condiciones controladas, mejora y optimiza el control de los factores bióticos y abióticos que inciden sobre el cultivo (Singh, 1998; Pruski *et al.*, 2003), al generar plantas más sanas y de mejor calidad, así como al reducir el número de multiplicaciones en campo (Lommen y Struik, 1992), lo que se traduce en mayor disponibilidad de semilla a corto plazo. Sin embargo, el costo de esta técnica es elevado, ya que en promedio se requieren 55,000 minitubérculos para establecer una hectárea de cultivo (Ahloowalia, 1999).

El empleo de semilla-tubérculo inmadura de papa (cosechada antes de alcanzar la madurez fisiológica) permite incrementar el número de ciclos de cultivo por año (Lommen y Struik, 1992), aunque su uso implica una reducción en el rendimiento debido a su peso, daños en la epidermis por inmadurez del peridermo y requerimiento de condiciones especiales durante el almacenamiento, características que mejoran al cosechar tubérculos con plena madurez (Martin, 1988).

Los resultados obtenidos al sembrar semilla-tubérculo inmadura son diversos, como es la disminución del rendimiento (Haverkort *et al.*, 1991) y del área foliar, además de mayor duración del ciclo biológico (Kawakami *et al.*, 2004), o bien la alta producción de tubérculos por planta mediante cosechas sucesivas realizadas en diferentes intervalos durante la tuberización, y con buen rendimiento en campo al utilizarse como semilla-tubérculo (Lommen y Struik, 1992).

Por lo anterior, esta investigación tuvo como objetivo evaluar el desarrollo y rendimiento de papa en respuesta a la siembra de semilla-tubérculo inmadura, bajo el supuesto de que el buen manejo del tubérculo inmaduro permite obtener

semilla con características similares a las que alcanzan en la plena madurez, sin afectar la duración de su desarrollo o el rendimiento de tubérculo y sus componentes principales.

MATERIALES Y MÉTODOS

La investigación se realizó en Chapingo, Estado de México, bajo condiciones de invernadero, en dos etapas. La etapa inicial del estudio se efectuó en el periodo de octubre a enero de 2008-2009, durante el cual se obtuvo semilla-tubérculo con diferente grado de madurez. Se utilizaron minitubérculos, en estado fisiológico de dominancia apical, de las variedades Alpha, Atlantic, Mondial y Vivaldi, con diámetros promedio de 23, 23, 32 y 28 mm, respectivamente; dos minitubérculos de cada variedad se sembraron a 10 cm de profundidad, en bolsas de polietileno color negro con capacidad de 6 L, llenas con sustrato compuesto por la mezcla de peat moss-perlita (1:1 v/v). Al sustrato se le aplicó 1.2 g de la mezcla de N, P, K, Ca y Mg por bolsa; el riego se aplicó de manera manual, a capacidad de campo y de manera periódica.

Durante el ciclo de cultivo la temperatura del aire y la humedad relativa fueron fluctuantes (Figura 1). La temperatura máxima varió entre 28 y 45 °C, aunque desde los 22 días después de la emergencia y hasta la madurez fisiológica del tubérculo fueron superiores a 36 °C, y éstas coincidieron con la etapa reproductiva final (formación y llenado del tubérculo). La temperatura mínima fue mayor a 11 °C y la media fue de 26 °C.

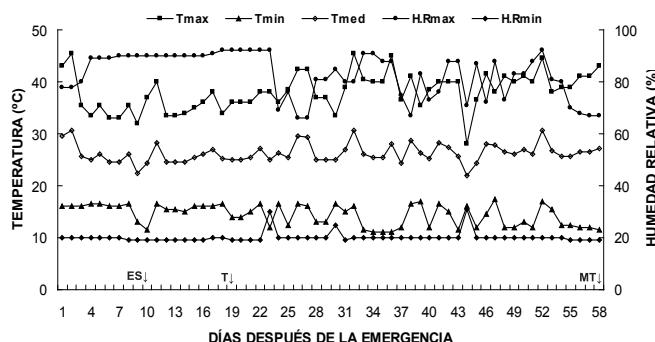


FIGURA 1. Temperatura del aire y humedad relativa, en condiciones de invernadero. Chapingo, México. Ciclo Primavera-Verano, 2009. Las flechas indican las fases de inicio de estoloneo (ES), tuberización (T) y madurez fisiológica del tubérculo (MT). Valores promedio de cuatro variedades.

La humedad relativa máxima varió entre 66 y 92 %, y fue mayor a 89 % entre los 7 y 23 días después de la emergencia, lo que coincidió con las fases de inicio de estoloneo y tuberización; en tanto que la humedad relativa mínima fue superior al 18 % en todo el ciclo de cultivo y mostró menor variación durante éste (Figura 1).

En plena etapa de tuberización se realizaron cuatro cosechas de tubérculos a intervalos de 14 ±2 días; esos se colocaron en bolsas de polietileno y se cubrieron con sustrato seco (peat moss-perlita), en el que permanecieron

CUADRO 1. Temperatura del aire y humedad relativa registradas durante el almacenamiento de la semilla-tubérculo de papa después de la cosecha, en dos condiciones.

	MESES					
	DICIEMBRE	ENERO	FEBRERO	MARZO	ABRIL	MAYO
	INVERNADERO			LABORATORIO		
TEMPERATURA (°C)						
Máxima	35	37	41	45		27
Mínima	4	5	7	9	18	20
Media	19	21	24	27	21	23
HUMEDAD RELATIVA (%)						
Máxima	78	70	31	30	32	35

CUADRO 2. Peso de semilla-tubérculo en estado fisiológico de brotación múltiple como efecto de las cosechas a diferente grado de madurez en cuatro variedades de papa.

VARIEDAD	GRADO DE MADUREZ DE LA SEMILLA-TUBÉRCULO							
	1		2		3		4	
	DDT ^z	PESO ^y (g)	DDT	PESO (g)	DDT	PESO (g)	DDT	PESO (g)
Alpha	24	14	39	27	53	36	64	39
Atlantic	16	14	31	25	45	32	58	48
Mondial	25	21	40	34	54	49	65	51
Vivaldi	23	8	38	7	52	7	63	26
Media	22	14	37	23	51	31	63	41

^xValores promedio de 10 tubérculos.

^zDDT: días después del inicio de la tuberización;

durante el periodo de diciembre a mayo de 2008-2009, almacenados en condiciones de invernadero y laboratorio, hasta que ocurrió la brotación. Las temperaturas y humedad relativa que ocurrieron durante el almacenamiento se muestran en el Cuadro 1.

La segunda etapa del estudio se llevó a cabo entre los meses de mayo y agosto de 2009; consistió en evaluar el cultivo establecido con semilla-tubérculo inmadura. Las condiciones de este experimento fueron similares a las de la primera etapa; se utilizaron las mismas variedades, tipo de contenedor y de sustrato, abastecimiento nutrimental y frecuencia de riegos, excepto en que la semilla-tubérculo utilizada mostró el estado fisiológico de brotación múltiple y varió en su peso por efecto de la oportunidad de la cosecha durante su desarrollo (Cuadro 2). En ese periodo se utilizó un termómetro de columna de mercurio de máxima y mínima marca Taylor® modelo 5458 para registrar la temperatura máxima y mínima del aire (°C), con las que se obtuvo la temperatura media, y un termo-higrómetro digital marca TFA para registrar la humedad relativa (%).

La siembra de la semilla-tubérculo de las cuatro variedades con el mismo grado de madurez, representó un experimento completo. Éste se estableció bajo el diseño de bloques completos al azar con tres repeticiones; la unidad experimental consistió de dos contenedores (bolsas) separados entre sí a 15 cm.

Se establecieron cuatro experimentos independientes, y en cada uno de éstos se calculó el número de grados día (GD) para cada fase y etapa fenológica con el mé-

todo residual clásico, que consiste en sumar la diferencia de la temperatura media diaria y una temperatura base de 6 °C (Cao y Tibbits, 1995) a partir de la emergencia de la semilla de cada variedad.

El número de GD en las fases de emergencia (E) se determinó en los siguientes momentos: cuando el 50 % de las plantas de cada unidad experimental emergieron; en el inicio de estoloneo (ES), considerado como el instante en que apareció el estolón en el tallo principal; al inicio de la tuberización (T), identificado como el momento en que ocurrió el engrosamiento del ápice del estolón (inicio de crecimiento del tubérculo); y en la madurez fisiológica del tubérculo (MT), momento en que sucedió la máxima acumulación de la materia seca y que puede identificarse visualmente por la pérdida del color verde del follaje o senescencia del mismo. También se determinó el número de GD acumulados al momento de ocurrencia de las siguientes etapas: vegetativa (EV), que considera el intervalo desde la emergencia hasta el inicio de estoloneo, durante el cual se observó crecimiento vegetativo en la parte aérea y establecimiento del sistema radical en la parte subterránea; etapa reproductiva inicial (ER 1) que incluye el intervalo desde inicio de estoloneo hasta inicio de tuberización, y se caracterizó por la producción y crecimiento de estolones; y etapa reproductiva final (ER 2), que va desde el inicio de la tuberización hasta la madurez fisiológica del tubérculo, y en la que ocurrió el llenado de éste.

Al momento de la cosecha se cuantificó el número de tubérculos por planta con diámetro mayor a un centímetro

(NTMCP), número de tubérculos por planta con diámetro menor a un centímetro (NTMECP) y número total de tubérculos por planta (NTTP), que se obtuvo al sumar NTMCP y NTMECP; el peso total de tubérculos por planta (PTTP en g) fue la suma de los pesos del NTMCP y NTMECP; el peso promedio de tubérculo por planta (PPTP) se obtuvo al dividir el PTTP entre el NTTP.

La materia seca de la parte aérea (hojas y ramas; MSA en g) y de la parte subterránea (raíz y parte del estolón; MSR en g), se determinó al momento de la cosecha en dos plantas por variedad, que fueron llevadas dentro de bolsas de papel a una estufa de secado marca Blue M® modelo POM-326F, donde estuvieron 72 h a 75 °C.

Los datos de los cuatro experimentos independientes, que representaron a los grados de madurez (GM) de la semilla-tubérculo, fueron analizados como una serie de experimentos, y consistieron en análisis de varianza y pruebas de comparación de medias de Tukey ($P \leq 0.05$).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Análisis de varianza

El análisis combinado, con excepción del grado de madurez (GM) en la etapa reproductiva final, mostró efectos significativos entre GM, variedades (VAR) y en la interacción GM x VAR en todas las variables estudiadas (Cuadro 3), lo que indica que el grado de madurez de la semilla-tubérculo empleada durante la siembra afectó el comportamiento de las variedades (De Jong *et al.*, 1981).

Fenología del cultivo

El cultivo generado por semilla-tubérculo con GM 1 requirió mayor número de GD en las fases de tuberización (45) y madurez fisiológica del tubérculo (68), y su ciclo biológico fue más largo que en los de madurez completa (GM 4) (Cuadro 4); los tubérculos de menor madurez (GM 1 y 2) requirieron 72 GD más que los de madurez completa en la fase de inicio de estoloneo y en la etapa vegetativa, por lo que al prolongarse la duración de ésta, el ciclo de cultivo también se hace más largo. La duración de la etapa reproductiva final fue igual en todas las variedades independientemente del grado de madurez de la semilla-tubérculo utilizada para la siembra.

La variedad Alpha requirió mayor número de GD para alcanzar las fases de inicio de estoloneo (51) y de madurez fisiológica del tubérculo (81), y su ciclo fue más largo que en las otras variedades, mientras que Vivaldi alcanzó más pronto la madurez, ya que necesitó 11 % menor número de GD que Alpha. De manera general, las variedades Atlantic y Mondial tuvieron comportamiento intermedio, respecto a Vivaldi y Alpha, y alcanzaron la madurez fisiológica del tubérculo, en promedio, a los 1192 GD. Las etapas vegetativa y reproductiva final contribuyeron más en la duración del ciclo biológico de Alpha (10 %), a diferencia de lo ocurrido en las otras variedades, en donde fue la etapa reproductiva inicial (Cuadro 4).

Conforme la semilla-tubérculo fue menos madura (GM 1), la duración del ciclo de cultivo se prolongó. Estos resultados concuerdan con los reportados por Kawakami *et al.* (2004), quienes al usar semilla-tubérculo inmadura observaron que el periodo para alcanzar la madurez fisiológica fue más prolongado. Los tubérculos con GM 1 y la variedad Alpha tuvieron el ciclo biológico más largo debido a la mayor duración de la etapa vegetativa; al respecto, Ranalli *et al.* (1994) indican que la semilla-tubérculo de tamaño pequeño frecuentemente presenta una lenta emergencia, con lo que el ciclo de cultivo podría prolongarse, situación que sucedió en los tubérculos de menor madurez (GM 1), que fueron los de menor tamaño.

La interacción entre variedad y grado de madurez de la semilla-tubérculo en las distintas fases y etapas fenológicas, indicó que la duración de la etapa reproductiva inicial fue similar en cada variedad, independientemente de la madurez de la semilla-tubérculo utilizada durante la siembra. Este comportamiento también se observó en las fases de inicio de estoloneo, tuberización y en la etapa vegetativa en Atlantic, en la madurez fisiológica del tubérculo y la etapa reproductiva final en Mondial, en el inicio de la tuberización en Vivaldi y en la madurez fisiológica en Alpha (Cuadro 5). Sin embargo, al comparar la variación total entre variedades en los cuatro grados de madurez, se observó que Alpha con GM 1 requirió mayor número de GD en el inicio de estoloneo, etapa vegetativa y al igual que Atlantic con GM 1, en la madurez fisiológica (53, 53 y 18 %); también con GM 3 en la etapa reproductiva final (29 %); y Mondial con GM 2 en el inicio de la tuberización (36 %) y con GM 4 en la etapa reproductiva inicial (55 %) con respecto a Vivaldi, que fue la variedad más precoz (Cuadro 5).

La variación en el momento de ocurrencia de las fases y duración de las etapas fenológicas entre variedades y grado de madurez de la semilla-tubérculo, ilustra las diferencias genotípicas en hábito de crecimiento (Collins, 1977); y a pesar de que su duración está controlada genéticamente, el factor ambiental puede afectar su comportamiento (Kolbe y Stephan-Beckmann, 1997). La alta estabilidad que presentaron las variedades Alpha y Mondial al no mostrar diferencias en el número de GD para alcanzar la madurez fisiológica entre grados de madurez, permitiría utilizar semilla-tubérculo menos madura, y de esta forma, dado el ciclo más corto para obtenerla, se dispondría de mayor cantidad al llevar a cabo varios ciclos de producción (Lommen y Struik, 1992), sobre todo en zonas donde la falta de semilla es el principal factor limitante del cultivo.

La mayor duración del ciclo biológico en las variedades Alpha y Atlantic con tubérculos de menor madurez, concuerda con lo reportado por Kawakami *et al.* (2004), quienes indican que al usar semilla-tubérculo inmadura, la madurez fisiológica fue más prolongada, lo que limitaría su uso en aquellos ambientes de corta estación de crecimiento, pero que a través de la selección de genotipos con un rápido inicio de la tuberización (Vivaldi con GM 2)

CUADRO 3. Cuadros medios de variables fenológicas, de rendimiento, sus componentes y de la materia seca del cultivo de papa, en condiciones de invernadero. Chapingo, México. Ciclo Primavera-Verano, 2009.

VARIABLES	FUENTES DE VARIACIÓN					
	GM ^z	BLO(GM)	VAR	GM x VAR	ERROR	CV (%)
ES	18376**	1139	11981**	2964**	595	11
T	8112*	1650	9492**	9015**	1924	10
MT	14099**	2794	36477**	5628**	1358	3
EV	18376**	1139	11981**	2964**	595	11
ER 1	8519**	922	6734**	3151*	1194	19
ER 2	2063 ^{NS}	1961	20472**	9866**	1574	5
NTMCP	25**	1	490**	32**	3	20
NTMECP	11**	1	46**	10**	2	58
NTTP	44**	4	672**	50**	5	20
PTTP	7402**	1256	39078**	3440**	521	9
PPTP	416**	42	5420**	236**	74	27
MSA	201**	31	2148**	120**	15	12
MSR	24**	2	220**	11**	2	28
GL	3	8	3	9	55	

^{NS}; *; **: No significativo y significativo a una $P \leq 0.05$ y 0.01, respectivamente.

^zGM: grado de madurez; BLO(GM): bloque anidado en grado de madurez; VAR: variedad; CV: coeficiente de variación; ES: inicio de estoloneo; T: inicio de tuberización; MT: madurez fisiológica del tubérculo; EV: etapa vegetativa; ER 1: etapa reproductiva inicial; ER 2: etapa reproductiva final; NTMCP: número de tubérculos por planta con diámetro mayor a un centímetro; NTMECP: número de tubérculos por planta con diámetro menor a un centímetro; NTTP: número total de tubérculos por planta; PTTP: peso total de tubérculos por planta; PPTP: peso promedio de tubérculo por planta; MSA: materia seca de la parte aérea; MSR: materia seca de la parte subterránea; GL: grados de libertad.

CUADRO 4. Comportamiento fenológico entre semilla-tubérculo con diferente grado de madurez y variedades de papa, en condiciones de invernadero. Chapingo, México. Ciclo Primavera-Verano, 2009.

	FASES (GD) ^y			ETAPAS (GD)		
	ES	T	MT	EV	ER 1	ER 2
GRADO DE MADUREZ						
GM1	265a ^z	452a	1230a	265a	187ab	778a
GM 2	263a	413ab	1197ab	263a	150 b	785a
GM 3	200 b	391 b	1156 b	200 b	191a	766a
GM 4	192 b	407ab	1162ab	192 b	215a	755a
DMS	44	53	69	44	40	58
VARIEDAD						
Alpha	268a	421ab	1246a	268a	153 b	825a
Atlantic	215 bc	409ab	1187 b	215 bc	194a	779 b
Mondial	241ab	450a	1198 b	241ab	209a	749 bc
Vivaldi	195 c	382 b	1113 c	195 c	187ab	731 c
DMS	28	50	42	28	39	45

^yGD: grados día; ES: inicio de estoloneo; T: inicio de tuberización; MT: madurez fisiológica del tubérculo; EV: etapa vegetativa; ER 1: etapa reproductiva inicial; ER 2: etapa reproductiva final; DMS: diferencia mínima significativa.

^zValores con la misma letra dentro de columnas, son iguales de acuerdo con la prueba de Tukey a una $P \leq 0.05$.

permitiría el llenado del tubérculo en menor tiempo, sobre todo donde la cosecha se realiza antes de alcanzar la madurez fisiológica (Walworth y Carling, 2002).

Rendimiento, sus componentes y materia seca

El rendimiento de papa se puede definir como la suma del número de tallos, tubérculos y tamaño de éstos por planta (Lynch *et al.*, 2001), y está determinado por el genotipo, el ambiente y la interacción entre éstos (Milton y Allen, 1995). El número total de tubérculos por planta fue 27 % mayor en las plantas generadas por semilla-tubérculo con GM 1 que en los otros grados de madurez (Cuadro 6); el rendimiento

expresado en peso total de tubérculos por planta fue similar al utilizar semilla-tubérculo con GM 1, 2 y 4, y fue 12 % mayor que las de GM 3. El componente que más contribuyó con el rendimiento al emplear semilla-tubérculo con GM 1 fue el número total de tubérculos por planta, mientras que con GM 2 y 4 fue el peso promedio de tubérculo por planta. La materia seca de la parte aérea fue 17 % mayor cuando se utilizó semilla-tubérculo con GM 4 que con los demás grados de madurez; mientras que al usar semilla-tubérculo con GM 1, 3 y 4 se tuvo 29 % mayor contenido de materia seca en la parte subterránea que con los de GM 2.

El hecho de que las plantas generadas por semilla-

CUADRO 5. Comparación fenológica de la interacción variedad x grado de madurez de la semilla-tubérculo de papa, en condiciones de invernadero. Chapingo, México. Ciclo Primavera-Verano, 2009.

VARIEDAD	FASES (GD) ^y				ETAPAS (GD)		
	GM	ES	T	MT	EV	ER 1	ER 2
Alpha	1	343a ^z	509ab	1285a	343a	166abc	776 bcd
Alpha	2	283abc	404abcd	1222abc	283abc	121 c	819abc
Alpha	3	229 cdef	345 cd	1261ab	229 cdef	115 c	917a
Alpha	4	217 cdef	426abcd	1217abc	217 cdef	209abc	790 bc
Atlantic	1	230 cdef	433abcd	1277a	230 cdef	203abc	844ab
Atlantic	2	244 cde	396abcd	1176abcd	244 cde	153 bc	780 bc
Atlantic	3	210 cdef	438abcd	1155 bcde	210 cdef	228ab	718 cd
Atlantic	4	178 def	368 cd	1142 cde	178 def	190abc	774 bcd
Mondial	1	235 cdef	426abcd	1172abcd	235 cdef	190abc	747 bcd
Mondial	2	323ab	520a	1264ab	323ab	197abc	744 bcd
Mondial	3	193 def	379 bcd	1153 bcde	193 def	186abc	775 bcd
Mondial	4	213 cdef	475abc	1203abc	213 cdef	262a	729 bcd
Vivaldi	1	251 bcd	440abcd	1185abcd	251 bcd	189abc	745 bcd
Vivaldi	2	201 def	331 d	1127 cde	201 def	129 bc	797abc
Vivaldi	3	169 ef	401abcd	1054 e	169 ef	232ab	654 d
Vivaldi	4	160 f	357 cd	1085 de	160 f	197abc	729 bcd
DMS	76	136	114	76	107	123	

^yGD: grados día; GM: grado de madurez de la semilla-tubérculo; ES: inicio de estoloneo; T: inicio de tuberización; MT: madurez fisiológica del tubérculo; EV: etapa vegetativa; ER 1: etapa reproductiva inicial; ER 2: etapa reproductiva final. DMS: diferencia mínima significativa.

^zValores con la misma letra dentro de columnas, son iguales de acuerdo con la prueba de Tukey a una $P \leq 0.05$.

CUADRO 6. Comportamiento del rendimiento, sus componentes y de la materia seca entre semilla-tubérculo con diferente grado de madurez y variedades de papa, en condiciones de invernadero. Chapingo, México. Ciclo Primavera-Verano, 2009.

	NTMCP ^y	NTMECP	NTTP	PTTP (g)	PPTP (g)	MSA (g)	MSR (g)
GRADO DE MADUREZ							
GM 1	11a ^z	4a	15a	249ab	28 b	30 b	5ab
GM 2	9 b	3ab	12 b	273a	32ab	31ab	4 b
GM 3	9 b	2 bc	11 b	229 b	28 b	29 b	6a
GM 4	9 b	1 c	10 b	261ab	38a	36a	6a
DMS	1	2	3	36	7	6	2
VARIEDAD							
Alpha	16a	3a	19a	246 b	17 c	41a	10a
Atlantic	4 c	1 b	5 d	215 c	56a	25 b	5 b
Mondial	9 b	3a	12 b	316a	28 b	40a	5 b
Vivaldi	9 b	1 b	10 c	234 b c	25 b	21 c	2 c
DMS	2	1	2	19	7	3	2

^yNTMCP: número de tubérculos por planta con diámetro mayor a un centímetro; NTMECP: número de tubérculos por planta con diámetro menor a un centímetro; NTTP: número total de tubérculos por planta; PTTP: peso total de tubérculos por planta; PPTP: peso promedio de tubérculo por planta; MSA: materia seca de la parte aérea; MSR: materia seca de la parte subterránea; DMS: diferencia mínima significativa.

^zValores con la misma letra dentro de columnas, son iguales de acuerdo con la prueba de Tukey a una $P \leq 0.05$.

tubérculo de menor madurez no hayan mostrado el menor rendimiento con respecto a la de mayor grado de madurez, podría deberse a que su ciclo biológico tendió a ser más largo (Kawakami *et al.*, 2004), y esta condición permitió a los tubérculos acumular mayor cantidad de fotosintatos producidos por el follaje aún activo, aunque esto depende del genotipo y el ambiente (Kleinkopf, 1983). La baja producción de materia seca en la parte aérea de las plantas generadas por semilla-tubérculo con menor madurez, concuerda con lo obtenido por Kawakami *et al.*

(2004), quienes indican que el uso de semilla inmadura y de menor tamaño produce bajo contenido de biomasa.

En general, la variedad Alpha tuvo mayor número de tubérculos por planta con diámetro mayor a un centímetro (54 %), mayor número total de tubérculos por planta (53 %) y mayor cantidad de materia seca en la parte subterránea de la planta (10 g) que las otras variedades, y junto con Mondial mayor número de tubérculos por planta con diámetro menor a un centímetro (67 %) y mayor cantidad

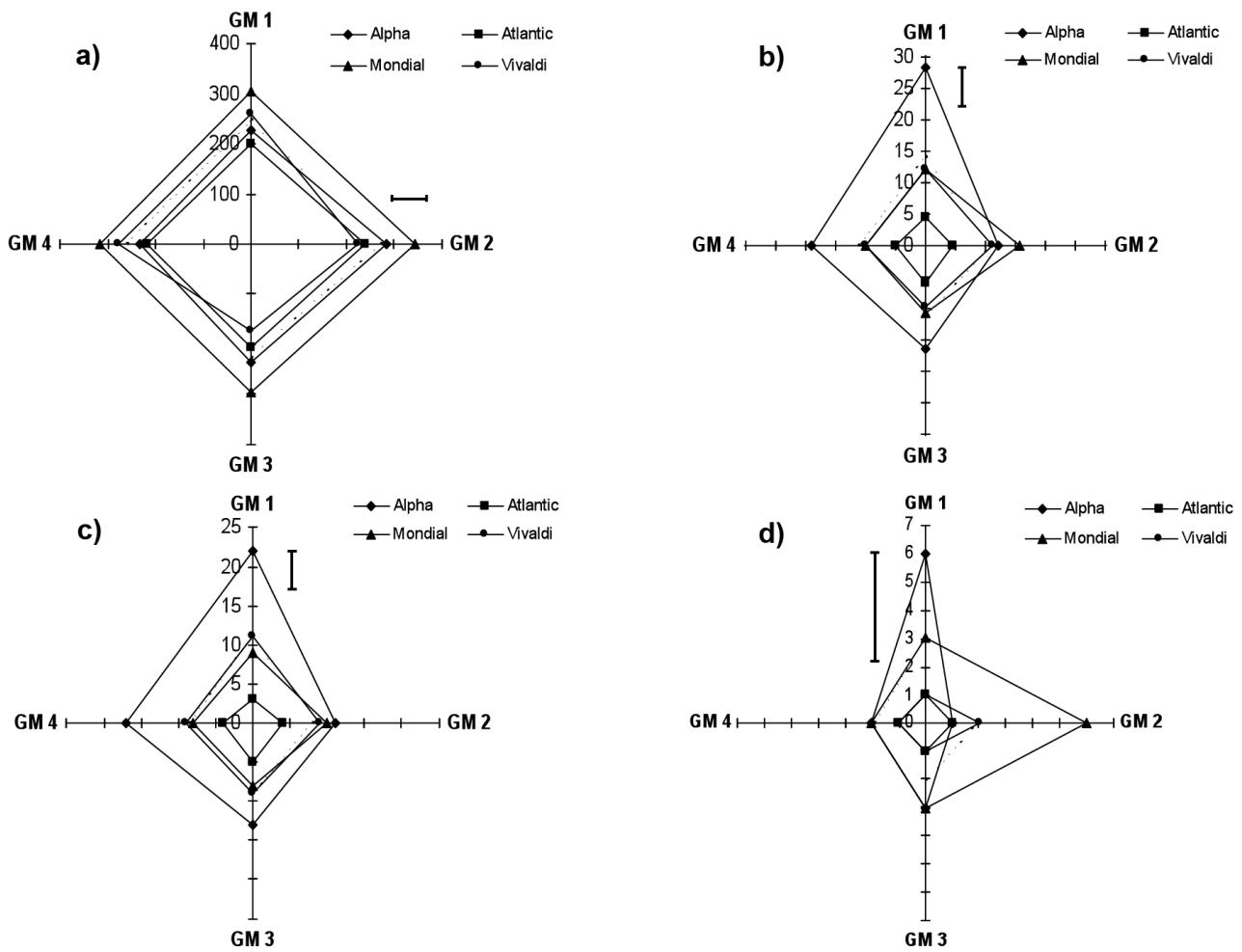


FIGURA 2. Comportamiento del peso total (g) de tubérculos por planta (a), número total de tubérculos (b), con diámetro mayor (c) y menor (d) a un centímetro por planta, en condiciones de invernadero. Chapingo, México. Ciclo Primavera-Verano, 2009. El área de cada polígono, representa la distribución de la variable que toman las variedades, en los cuatro GM de la semilla-tubérculo. La barra dentro de cada figura representa al valor de la DMS a una $P \leq 0.05$, y el polígono punteado a la media.

de materia seca de la parte aérea de la planta (40 g) que Atlantic y Vivaldi. Las variedades Mondial y Atlantic tuvieron 27 y 58 % mayor peso total de tubérculos por planta y peso promedio de tubérculos por planta, respectivamente, que las otras variedades (Cuadro 6).

Aunque la variedad Alpha tuvo más tubérculos por planta, fue de menor rendimiento que Mondial, debido a un menor peso promedio de tubérculos por planta, ya que según Zvomuya y Rosen (2002), el número de tubérculos y su tamaño son las características que definen el rendimiento final; aunque por otra parte, un mayor número de tubérculos en la planta podría representar mayor competencia entre éstos por la acumulación de fotoasimilados, lo que resultaría en una disminución del tamaño (Walworth y Carling, 2002), y en consecuencia, reducción del rendimiento.

El análisis de la interacción entre variedad y grado de madurez de la semilla-tubérculo en los diferentes caracteres del rendimiento y de la materia seca indicó que, con excepción del peso total de tubérculos por planta, la variedad Alpha presentó mayor variación en el número de

tubérculos por planta con diámetro mayor y menor a un centímetro, y en el número total de tubérculos por planta, al pasar de un grado de madurez a otro; a diferencia de Atlantic, que no mostró diferencias en estos caracteres, independientemente de la madurez de la semilla-tubérculo utilizada durante la siembra (Figura 2). No obstante, al comparar todas las variedades en los cuatro grados de madurez, se observó que la variedad Mondial, en promedio de los cuatro GM, tuvo 46 % mayor peso total de tubérculos por planta que Vivaldi con GM 3; en tanto que la variedad Alpha con GM 1 registró 82 % más tubérculos por planta con diámetro mayor a un centímetro que Atlantic con GM 1, 2, 3 y 4; las variedades Alpha con GM 1 y Mondial con GM 2 tuvieron 83 % mayor número de tubérculos por planta con diámetro menor a un centímetro que Atlantic y Vivaldi con los cuatro grados de madurez (Cuadro 7).

La superioridad en el rendimiento que tuvo la variedad Mondial con GM 2, se debió a la presencia de mayor número de tubérculos por planta con diámetro menor a un centímetro, al número total de tubérculos por planta

CUADRO 7. Comparación de la interacción variedad x grado de madurez de la semilla-tubérculo de papa en el rendimiento, sus componentes y la materia seca, en condiciones de invernadero. Chapingo, México. Ciclo Primavera-Verano, 2009.

VARIEDAD	GM	NTMCP	NTMECP	NTTP	PTTP (g)	PPTP (g)	MSA (g)	MSR (g)
Alpha	1	22a ^z	6a	28a	228 defg	9 e	35 bcd	10a
Alpha	2	11 cd	1 b	12 cd	285abcd	28 cde	36 bc	6 b
Alpha	3	13 bc	3ab	16 bc	237 cdefg	15 de	43ab	13a
Alpha	4	17 b	2 b	19 b	234 cdefg	14 de	49a	11a
Atlantic	1	3 g	1 b	4 f	200 fg	55ab	25 cdef	5 bc
Atlantic	2	4 fg	1 b	5 ef	238 cdefg	56ab	29 cde	3 bc
Atlantic	3	5 efg	1 b	6 def	207 fg	48abc	22 ef	3 bc
Atlantic	4	4 fg	1 b	5 ef	217 efg	66a	23 ef	6 b
Mondial	1	9 cde	3ab	12 cd	305ab	23 de	36 bc	4 bc
Mondial	2	10 cd	6a	16 bc	344a	22 de	41ab	4 bc
Mondial	3	8 def	3ab	11 cde	297abc	30 cde	35 bcd	6 b
Mondial	4	8 def	2 b	10 cdef	317ab	35 bcd	48a	5 bc
Vivaldi	1	11 cd	1 b	12 cd	261 bcdef	26 cde	25 cdef	2 c
Vivaldi	2	9 cde	2 b	11 cde	225 defg	21 de	19 ef	2 c
Vivaldi	3	9 cde	1 b	10 cdef	172 g	18 de	14 f	2 c
Vivaldi	4	9 cde	1 b	10 cdef	277 bcde	36 bcd	24 def	3 bc
DMS		5	4	7	67	25	12	4

^zGM: grado de madurez de la semilla-tubérculo; NTMCP: número de tubérculos por planta con diámetro mayor a un centímetro; NTMECP: número de tubérculos por planta con diámetro menor a un centímetro; NTTP: número total de tubérculos por planta; PPTP: peso total de tubérculos por planta; PPTP: peso promedio de tubérculo por planta; MSA: materia seca de la parte aérea; MSR: materia seca de la parte subterránea; DMS: diferencia mínima significativa.

^zValores con la misma letra dentro de columnas, son iguales de acuerdo con la prueba de Tukey a una $P \leq 0.05$.

y al alto contenido de materia seca de la parte aérea; no obstante, se pudo observar variación en dicho rendimiento al usar semilla-tubérculo con diferente grado de madurez, lo que indica que la condición de inmadurez influyó en el comportamiento de las variedades (De Jong *et al.*, 1981). La variedad Alpha, a pesar de que tuvo mayor número de tubérculos por planta con GM 1, no tuvo igual rendimiento que Mondial, debido a que el mayor número de tubérculos por planta generó más competencia entre éstos, lo que resultó en menor peso promedio de tubérculos por planta y, por lo tanto, disminución en el rendimiento. Estos resultados concuerdan con los obtenidos por Walworth y Carling (2002), quienes indican que un mayor número de tubérculos por planta podría resultar en una disminución en el tamaño, aun en condiciones no limitantes. Atlantic fue la variedad que registró el mayor peso promedio de tubérculos por planta; sin embargo, su bajo rendimiento se debió a un menor número de tubérculos por planta, ya que este último carácter al igual que su tamaño son los componentes que definen el rendimiento final (Zvomuya y Rosen, 2002).

El peso promedio de tubérculos por planta fue similar en cada variedad en los diferentes grados de madurez de la semilla-tubérculo usada; comportamiento que también se observó en la producción de materia seca de la parte aérea en las variedades Atlantic y Vivaldi, y en la producción de materia seca de la parte subterránea en Atlantic, Mondial y Vivaldi (Cuadro 7).

Al estudiar el efecto conjunto de variedades y grados de madurez, se detectó que la variedad Atlantic, en promedio de los cuatro GM, presentó el mayor peso promedio de tubérculos por planta, y tuvo 84 % más que Alpha con GM 1; las variedades Alpha con GM 3 y 4, y Mondial con GM 2 y 4 tuvieron 57 % mayor contenido de materia seca de la parte aérea que Atlantic (GM 3 y 4) y Vivaldi (GM 2 y 3); en tanto que Alpha con GM 1, 3 y 4 superó en 82 % a Vivaldi con GM 1, 2 y 3 en el contenido de materia seca de la parte subterránea (Cuadro 7).

El mayor contenido de materia seca en la parte aérea en Mondial con GM 2 y 4, estuvo asociado con su mayor rendimiento, lo cual es indicativo de la importancia que ese carácter tiene sobre el rendimiento (Kleinkopf, 1983); sin embargo, Alpha con GM 3 y 4, que tuvo altos valores de materia seca en la parte aérea y subterránea, no mostró el mismo comportamiento que Mondial, posiblemente debido a la competencia generada entre el crecimiento de la parte aérea y el alto número de tubérculos que tuvo, toda vez que un mayor número de tubérculos por planta podría afectar su tamaño (Walworth y Carling, 2002) y, por lo tanto, el rendimiento.

CONCLUSIONES

Bajo las condiciones en las que se llevó a cabo la investigación, se concluye que la utilización de semilla-tubérculo con grado de madurez dos, no repercute en mayor duración de su ciclo biológico y tampoco se reduce el rendimiento de tubérculo.

La variedad Alpha tuvo mayor número de tubérculos por planta y mayor duración de su ciclo biológico en tanto que Mondial mostró el mayor peso de tubérculos por planta, y fueron el número total y peso promedio de tubérculos por planta los componentes que más contribuyeron al rendimiento.

LITERATURA CITADA

- AHLOOWALIA B., S. 1999. Production of mini-seed tubers using a modular system of plant micropagation. *Potato Research* 42: 569-575.
- CAO, W.; TIBBITS, T. W. 1995. Leaf emergence on potato stems in relation to thermal time. *Agron. J.* 87: 474-477.
- COLLINS W., B. 1977. Comparison of growth and tuber development in three potato cultivars with diverse canopy size. *Can. J. Plant Sci.* 57: 797-801.
- DE JONG, H.; TAI, G. C. C.; RUSELL, W. A.; JOHNSTON, G. R.; PROUDFOOD, K. G. 1981. Yield potential and genotype environment interactions of tetraploid-diploid (4x-2x) potato hybrids. *American Potato Journal* 58: 191-199.
- FERNIE A., R.; WILLMITZER, L. 2001. Molecular and biochemical triggers of potato tuber development. *Plant Physiol.* 127: 1459-1465.
- HANNAPEL D., J.; CHEN, H.; ROSIN, F. M.; BANERJEE, K. A.; DAVIES, J. P. 2004. Molecular controls of tuberization. *American Journal of Potato Research* 81: 363-274.
- HAVERKORT, A. J.; VAN DE WAART, M.; BODLAENDER, K. B. A. 1990. The effect of early drought stress on numbers of tubers and stolons of potato in controlled and field studies. *Potato Research* 33: 89-96.
- HAVERKORT, A. J.; VAN DE WAART, M.; MARINUS, J. 1991. Field performance of potato microtubers as propagation material. *Potato Research* 34: 353-364.
- KAWAKAMI, J.; IWAMA, K.; JITSUYAMA, Y.; ZHENG, X. 2004. Effect of cultivar maturity period on the growth and yield of potato plants grown from microtubers and conventional seed tubers. *American Journal of Potato Research* 81: 327-333.
- KOLBE, H.; STEPHAN-BECKMANN, S. 1997. Development, growth and chemical composition of the potato crop (*Solanum tuberosum* L.). I. Leaf and stem. *Potato Research* 40: 111-129.
- KLEINKOPF G., E. 1983. Potato, pp. 287-305. In: *Crop Water Relations*. TEARE I., D.; PEET, M. M (eds.). John Wiley and Sons. New York, USA.
- LOMMEN W., J. M.; STRUIK, P. C. 1992. Production of potato minitubers by repeated harvesting: effects of crop husbandry on yield parameters. *Potato Research* 35: 419-432.
- LYNCH D., R.; KOZUB, G. C.; KAWCHUK, L. M. 2001. The relationship between yield, mainstem number, and tuber number in five maincrop and two early-maturing cultivars. *American Journal of Potato Research* 78: 83-90.
- MARTIN M., W. 1988. Use of sequential harvests in determining cultivar characteristics. *American Potato Journal* 65: 490-491.
- MILTON P., J.; ALLEN, S. D. 1995. *Breeding Field Crops*. Iowa State University Press, Ames, Iowa, USA. 494 p.
- PRUSKI, K.; ASTARKIE, T.; DUPLESSIS, P.; LEWIS, T.; NOWAK, J.; STRUIK, P. C. 2003. Use of jasmonate for conditioning of potato plantlets and microtubers in greenhouse production of minitubers. *American Journal of Potato Research* 80: 183-193.
- RANALLI, P.; BASSI, F.; RUARO, G.; DEL RE, P.; DI CANDILO, M.; MANDOLINO, G. 1994. Microtuber and minituber production and field performance compared with normal tuber. *Potato Research* 37: 383-391.
- SINGH, S. 1998. Minituber production on stored potatoes: an innovation in seed production and its dimensions. *J. Indian Potato Assoc.* 25: 66-72.
- SUTTLE, J. 2008. Symposium introduction: enhancing the nutritional value of potato tubers. *American Journal of Potato Research* 85: 266.
- WALWORTH, J. L.; CARLING, D. E. 2002. Tuber initiation and development in irrigated and non irrigated potatoes. *American Journal of Potato Research* 79: 387-395.
- ZVOMUYA, J.; ROSEN, C. J. 2002. Biomass partitioning and nitrogen use efficiency of 'Superior' potato following genetic transformation for resistance to Colorado potato beetle. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* 127: 703-709.